Über den Bindewert unter Wassereinwirkung von Teeren und anderen bituminösen Straßenbaubindemitteln

Von der Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Karl Willi Schultz
aus Fraustadt, Grenzmark Posen-Westpreußen

Berichterstatter (Referent):
Prof. Walter Hartleb
Stadtbaurat a. D.

Mitberichterstatter (Korreferent):
Prof. Ulrich Fischer
Regierungsbaumeister a. D.

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Februar 1937

Erscheint auch als Teil II, Band 3, der Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Jahrgang 1937

Über den Bindewert unter Wassereinwirkung von Teeren und anderen bituminösen Straßenbaubindemitteln

Von der Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von
Dipl.-Ing. Karl Willi Schultz
aus Fraustadt, Grenzmark Posen-Westpreußen

Berichterstatter (Referent):
Prof. Walter Hartleb
Stadtbaurat a. D.

Mitberichterstatter (Korreferent):
Prof. Ulrich Fischer
Regierungsbaumeister a. D.

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Februar 1937

* 41438

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dem Andenken meines Vaters!

Vorliegende Arbeit wurde im Institut für Straßenbauforschung an der Technischen Hochschule Breslau auf Veranlassung von Herrn Professor Walter Hartleb und mit Unterstützung der Forschungsgesellschaft für das deutsche Straßenwesen e. V. ausgeführt.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Hartleb, spreche ich auch an dieser Stelle für zahlreiche wissenschaftliche Anregungen, die besonders für das Gelingen der Arbeit wertvoll waren, meinen Dank aus.

Ferner danke ich der Forschungsgesellschaft für die Unterstützung, welche erst die Drucklegung der Arbeit ermöglichte.

Breslau, im Februar 1937.

Inhaltsverzeichnis

Zeichenerklärung 6

Neues Verfahren zur Bestimmung der Bindefähigkeit unter Wassereinwirkung 7

A. Erläuterung der Begriffe 7

B. Entwicklung des neuen Verfahrens 8

1. Begründung der Notwendigkeit des neuen Verfahrens 8

2. Versuchsanordnungen 9
   a) Prüfvorgang 9
   b) Aufbereitung des Gesteins 11
   c) Bindemittelbemessung 12
   d) Mischen und Einstampfen der Probekörper . 13
   e) Wassersättigung und Druck- und Zugfestigkeitsbestimmung 14
   f) Beispiel einer Bindemittelbemessung 15

3. Druckversuche zur Bestätigung der Eignung des Prüfverfahrens 16

4. Zugversuche zur Bestimmung des „Bindewertes unter Wassereinwirkung“ 22
   a) Gang der Versuche 22
   b) Ergebnisse der Versuche 24

C. Auswertung der Untersuchungen 29

Anhang: Versuchsreihen und Schaubilder Nr. 1—51 . . 34

Quellenangabe 50

Lebenslauf 53

Zeichenerklärungen

EP nach K.S. = Erweichungspunkt nach Krämer-Sarnow.

HW = Haftfestigkeitswert (Riedel-Weber).

DT = Druckfestigkeit nach Trockenlagerung.

DW = Druckfestigkeit nach Wassereinwirkung.

ZT = Zugfestigkeit nach Trockenlagerung.

ZW = Zugfestigkeit nach Wassereinwirkung.

A = ZT — ZW = Zugfestigkeitsabfall.

$AD = \frac{DT - DW}{DT} \cdot 100$ = prozentualer Druckfestigkeitsabfall.

$AZ = \frac{ZT - ZW}{ZT} \cdot 100$ = prozentualer Zugfestigkeitsabfall.

$AD_{ep} = \frac{DT_{ep} - DW_{ep}}{DT_{ep}} \cdot 100$ = prozentualer Druckfestigkeitsabfall bei Erweichungspunktstemperatur nach K.S.

$AZ_{ep} = \frac{ZT_{ep} - ZW_{ep}}{ZT_{ep}} \cdot 100$ = prozentualer Zugfestigkeitsabfall bei Erweichungspunktstemperatur nach K.S.

BWW = $100 - AZ_{ep}$ = Bindewert unter Wassereinwirkung.

Mischung ST = Standard-Mischung.

Neues Verfahren zur Bestimmung der Bindefähigkeit unter Wassereinwirkung

A. Erläuterung der Begriffe

Die Erfahrungen im praktischen Straßenbau und die Untersuchungen von Riedel und Weber[1]), Herrmann[2]), Oberbach[3]), Nüssel und Neumann[4]), Mallison[5]) u. a. m. und auch Versuche, die in dem Institut für Straßenbauforschung der Technischen Hochschule Breslau ausgeführt sind, haben gezeigt, daß Teer und Bitumen ausgezeichnete Bindestoffe sind, und daß ihre „trockene Haftung" (Riedel und Weber)[1]) an jedem vorkommenden Gestein so vollkommen ist, daß sie durch mechanische Mittel nicht getrennt werden können. Weiterhin ist durch die Arbeiten dargelegt worden, daß letzten Endes das Wasser, sei es direkt durch Kontraktionserscheinungen — sei es indirekt als Anlaß zu Emulgierungen oder zur Quellwirkung bei Staub und tonigen Bestandteilen — der Urheber der Schäden an Straßendecken ist, so weit sie auf die Bindemittel Teer und Bitumen zurückzuführen sind. Es ist deshalb vollkommen überflüssig und wohl auch undurchführbar, die unmittelbare Haftfestigkeit oder Adhäsion zwischen Gestein und Bindemittel mechanisch zu bestimmen. Es kommt bei der Wechselwirkung zwischen Gestein und Bindemittel dem Straßenbauer nur darauf an, das „wirkliche Haften", d. h. die gegenseitige „Bindefähigkeit unter Wassereinwirkung" der beiden Stoffe zu kennen. Die Zahl, durch die diese „Bindefähigkeit unter Wassereinwirkung" nach dem im folgenden ent-

[1]) Asphalt und Teer, 1933, S. 677, 693, 713, 729, 749, 792, 809, Asphalt und Teer, 1934, S. 91. Asphalt und Teer, 1934, Heft 11, 22, 24, 46, 47, 48, 49. Asphalt und Teer, 1936, Heft 8 und 10. Teer und Bitumen, 1934, S. 323. Asphalt und Teer, 1936, S. 977.
[2]) Asphalt und Teer, 1935, S. 905.
[3]) Teer und Bitumen, 1936, Heft 24 u. 25.
[4]) Bitumen, 1935, S. 125.
[5]) Asphalt und Teer, 1935, S. 884.

wickelten und beschriebenen Verfahren der „praktischen Haftfestigkeits-bestimmung" gemessen wird, sei „Bindewert unter Wassereinwirkung", abgekürzt: BWW genannt. Es handelt sich dabei nicht um Haftfestigkeitszahlen, sondern um praktische Vergleichszahlen, die den Einfluß des Wassers auf die Bindefähigkeit ausdrücken.

B. Neues Verfahren zur Bestimmung der „Bindefähigkeit unter Wassereinwirkung"

Zweck und Ziel der am Institut für Straßenbauforschung der Technischen Hochschule Breslau durchgeführten Versuche war, ein mechanisches Prüfverfahren zu entwickeln. Es wurde mit Nachdruck ein mechanischer Versuchsweg gewählt, da neben der rein physikalischen und chemischen Seite des Problems — der Grenzflächenspannung und positiven oder negativen Reaktion der polaren Moleküle der benetzenden Phase mit den hydrophoben bzw. hydrophilen Gesteinen (Riedel und Weber) — auch die Druck-, Zug- und Schubkräfte des Verkehrs und ihr erheblicher Einfluß auf die Straßendecke zu berücksichtigen sind. Nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen hat das Verfahren folgende B e d i n g u n g e n zu erfüllen:

1. Begründung der Notwendigkeit des neuen Verfahrens

a) Es muß sich über die Gesamtheit des Gesteines erstrecken, d. h. über alle gebräuchlichen Körnungsgrößen.

b) Die Untersuchungen müssen in Temperaturbereichen vorgenommen werden, die in der Straßendecke aufzutreten pflegen (etwa —30° C bis +50° C).

c) Zur Bestimmung der Bindewerte als Vergleichszahlen ist es unbedingt notwendig, die Prüfung bei einer Temperatur vorzunehmen, in der die Bindemittel eine möglichst gleiche Konsistenz haben.

d) Die Meßzahlen für das Bindevermögen („Bindewert unter Wassereinwirkung") müssen eindeutig durch ein feststehendes Maßsystem unter Ausschaltung aller willkürlichen subjektiven Momente bestimmt werden.

e) Um die Einflüsse von Verschmutzungen, von quellenden Bestandteilen u. dgl. mit zu erfassen, muß das bei der Prüfung verwendete

Gestein und das Bindemittel sich in dem gleichen Zustande befinden, wie es auf der Baustelle eingebracht wird.

f) Die Prüfung muß möglichst den natürlichen Verhältnissen auf der Straße entsprechen.

2. Versuchsanordnungen

a) Prüfvorgang

Nach zahlreichen Vorversuchen wurde folgendes Prüfverfahren entwickelt:

Aus dem zu untersuchenden Gestein und Bindemittel werden Probekörper für Druck- oder Zugversuche geformt und zwar so, daß das Gesteinsgerüst der Siebkurve (Siebanalyse) eines Teer- bzw. Asphaltfeinbetons entspricht. Vom Füller bis zum gröbsten Korn (hier 10 mm) ist also nur ein Gestein vorhanden. Der Bindemittelzusatz erfolgt nach Hohlraumgehalt der hochkomprimierten Mineralmasse bei 800 kg/cm² (s. P. Herrmann)[6]). Von diesen Körpern wird einmal nach Trockenlagerung, einmal nach Wasserlagerung die Druck- oder Zugfestigkeit bestimmt. Zwischen den Festigkeiten der Probekörper nach Trockenlagerung und der nach Wasserlagerung wird ein Unterschied bestehen, der erstens abhängig ist von dem Bindevermögen des Bindemittels am Gestein und zweitens von der Versuchstemperatur, da die verschiedenen Teere und Bitumina sich hauptsächlich durch ihre Viskositätszahlen unterscheiden. Für einwandfreie Vergleichswerte ist es notwendig, daß die Konsistenz der Bindemittel beim Prüfvorgang möglichst einheitlich und gleichmäßig ist. Aus diesem Grunde wurde als Prüftemperatur die Temperatur des Erweichungspunktes nach K.S. des betreffenden Bindemittels festgesetzt.

Bezeichnet man die Druck- oder Zugfestigkeit nach Trockenlagerung mit DT bzw. ZT, die Druck- oder Zugfestigkeit nach Wasserlagerung mit DW bzw. ZW, so beträgt der prozentuale Festigkeitsabfall für Druck:

$$AD = \frac{DT - DW}{DT} \cdot 100$$

und für Zug:

$$AZ = \frac{ZT - ZW}{ZT} \cdot 100.$$

---

[6]) Tätigkeitsbericht der Zentralstelle für Asphalt- und Teerforschung für das Geschäftsjahr 1932 von Dr. P. Herrmann, S. 27.

AD und AZ, bestimmt bei der Erweichungspunkttemperatur des zugehörigen Bindemittels, ergeben den prozentualen Zugfestigkeitsabfall bei Erweichungspunkttemperatur nach K.S.:

$$AD_{ep} = \frac{DT_{ep} - DW_{ep}}{DT_{ep}} \cdot 100$$

bzw. den prozentualen Zugfestigkeitsabfall bei Erweichungspunkttemperatur nach K.S.: $AZ_{ep} = \frac{ZT_{ep} - ZW_{ep}}{ZT_{ep}} \cdot 100$

Aus den Versuchsreihen werden sich Zahlenwerte ergeben, die es ermöglichen, Aussagen über das Bindevermögen zu machen. Das Bindevermögen wird um so schlechter sein, je größer der Unterschied zwischen den Festigkeitswerten der Körper nach Trockenlagerung und nach Wasserlagerung ist.

Das entwickelte Prüfverfahren gestattet es nicht, rein wissenschaftliche Haftfestigkeitszahlen von Gesteinen zu bestimmen. Es können aber auf indirektem Wege Aussagen über die Wechselwirkung von Gestein/Bindemittel in Form praktischer Werte, wie man sie im Straßenbau braucht, gemacht werden. Dies wird durch die möglichst nahe Angleichung der Versuchsmethode an die wirklichen Verhältnisse auf der Straße erreicht. Zur Untersuchung gelangen Probekörper, die der Straßendecke soweit angeglichen sind, als man sie überhaupt im Laboratorium nachahmen kann. Hilfsmittel ist das Wasser, das letzten Endes als Urheber und Förderer der Schäden in der Straße anzusehen ist (s. oben).

Alle Phasen des Versuches bewegen sich in natürlichen Grenzen, bringen also keine Potenzierung der Ergebnisse durch hohe Temperaturen, Einwirkung von Basen, Säuren usw. Nur die Annahme, daß das Steingerüst für Feinbeton als das Ausschlaggebende für die Prüfung sämtlicher Bindemittel/Gesteinsbindungen anzusehen sei, könnte zu einer Kritik Anlaß geben. Es könnte eingewendet werden, daß sich die Prüfung nicht über alle gebräuchlichen Gesteinskörnungen erstrecke oder daß mit zu wenig- oder mit zu hochviskosen Bindemitteln kein Feinbeton gebaut werden dürfe. Dieser „Kunstgriff" muß jedoch gewählt werden, da der Versuchstechnik gewisse Grenzen gesetzt sind und außerdem eine feststehende Standardmischung nach festgesetzter Siebkurve zur Bestimmung von Verhältniszahlen unumgänglich ist. Die Zahlenwerte, die erhalten werden, sind tatsächlich nur abhängig von dem mehr oder weniger schädlichen Einfluß des Wassers auf die Gestein/Bindemittelmischung, hervorgerufen durch Zwischenlagerung von Wasser, Staub, Luft, quellenden Bestandteilen zwischen Gestein

und Bindemittelfilm. Der Einfluß der Verdrängungs-, Quellungs- und Emulgierungserscheinungen des Wassers wird gewissermaßen durch Zahlenwerte in Form von Festigkeitszahlen gemessen.

b) Aufbereitung des Gesteins

Für die Versuche standen Gesteine zur Verfügung, die hauptsächlich in Schlesien gewonnen und im bituminösen Straßenbau verwendet werden. Diese Gesteine wurden entweder in den gewünschten Korngrößen nach Mischung ST (s. unten) oder in ähnlichen Siebungen, aus denen die gewünschten Körnungen abgesiebt werden konnten, oder als Gesteinsschotter der Körnung 30/70 angeliefert. Der Schotter mußte dann im Aufbereitungslaboratorium zerkleinert und die einzelnen Körnungen in der gewünschten und festgelegten Menge ausgesiebt werden.

Ein Backenbrecher zerkleinerte das Material auf 10 mm und darunter. 60% davon wurden im Walzenstuhl für die Körnung 3 mm und darunter bei einem Walzenabstand von 1 mm weitergebrochen. Fehlender Füller — Korn unter 0,09 mm — wurde durch Mahlen des Überschusses aus Körnung K_3 und K_2 gewonnen (Kugelmühle). Mit einer Siebmaschine wurde sorgsamst ausgesiebt und daraufhin die einzelnen Fraktionen nach der festgelegten Siebkurve zu dem Gesteinsgerüst zusammengebracht und ordentlich gemischt. Die Siebkurve für das Gesteinsgerüst der Probekörper lehnt sich an Mineral-Mischungen für Asphalt-Feinbeton an, die von Wilhelmi[7]), Stuttgart, in einer Arbeit vorgeschlagen wurden, und die sich bei den Vorversuchen als die geeignetste erwies. Die Mineralgemische streben unter Druckeinwirkung (drückend, knetend oder schlagend) einem ganz bestimmten Körnungsaufbau zu, bei dem sie sich am dichtesten lagern und am wenigsten ihre Kornabstufung durch weitere Druckeinwirkung dann verändern. Je mehr man sich bei der Zusammensetzung von Körnungsgemischen diesem Ideal anpaßt, desto haltbarer werden damit die hergestellten Straßen sein. Die Mischung lautet hinfort: Mischung ST.

Sie baut sich folgendermaßen auf:

Körnung	Gewichtsproz. Gestein
0,00 — 0,09 = (K_0+K_{00})	17,0
0,09 — 0,2 = (K_1)	6,0
0,2 — 1,0 = (K_2)	15,0
1,0 — 3,0 = (K_3)	22,0
3,0 — 10,0 = (K_4)	40,0

[7]) Bitumen, 1935, S. 177.

Die Gegenüberstellung der Hohlräume, bestimmt nach Herrmann bei hochkomprimierter Mineralmasse (800 kg/cm² Preßgewicht) und bei eingerütteltem Mineral, zeigt neben anderen Daten die Tabelle Nr. I

c) Bindemittelbemessung

Das vorgeschlagene Prüfverfahren setzt voraus, daß die Versuchsbedingungen in jedem Falle die gleichen sind. Deshalb muß die Bindemittelmenge entsprechend den verschiedenen Gesteinen im richtigen Vergleichsverhältnis zugegeben werden. Der idealste Zustand wäre es, für jede Versuchsreihe ein und dieselbe Bindemittelschichtstärke auf dem Mineral anzunehmen und dann mit Hilfe der Oberfläche der vorhandenen Gesteinsmischung die zugehörige Bindemittelmenge zu bemessen. Leider hat sich aber gezeigt, daß man die Oberfläche der verschiedenen Gesteine nur annähernd berechnen kann, und die von Pöpel angegebene Formel und die in den DIN-Vorschriften 1995/96 aufgeführten Werte versagen vollkommen bei der Erfassung der Oberfläche von

Tabelle Nr. I

Hohlraumgehalt der Mineralgemische nach Mischung ST. Mischung = Siebanalyse

Gestein	Spezifische Gewichte		Hohlräume bei (in Teilen von 100)				Differenz zwischen Hohlräumen des	
	Spezifische Gewichte	scheinbar spezifische Gewichte	mit 800 kg/cm² eingepreßten Mineral		eingerütteltem Mineral		mit 800 kg/cm² eingepreßten und des eingerütteltem Minerals $\frac{(III+IV)-(I+II)}{2}$	spezifischen Gewichtes und scheinbaren spez. Gew. $\frac{(II+IV)-(I+III)}{2}$
			scheinbar spez. Gew. I	spez. Gew. II	scheinbar spez. Gew. III	spez. Gew. IV		
Quarzporphyr	2,70	2,568	15,7%	19,7%	20,5%	24,5%	4,8%	4,0%
Basalt	3,11	2,957	12,9%	17,2%	15,2%	19,4%	2,25%	4,25%
Hochofenschlacke, W	3,06	2,835	13,6%	19,9%	22,2%	28,0%	8,35%	6,05%
Hochofenschlacke, O/S	2,82	2,682	14,0%	18,2%	22,6%	26,8%	8,6%	4,2%
Kalkstein	2,675	2,599	8,7%	11,2%	14,25%	16,8%	6,075%	2,502%
Granit	2,675	2,527	10,8%	15,6%	12,25%	17,0%	1,425%	4,775%

Füller. Ziegs und H. Nüssel[8]) beweisen in einer eingehenden Untersuchung, daß die Oberfläche von Füller, der durch das Maschensieb 200 hindurchgeht, erheblich größer ist, als die Berechnung der Oberfläche nach Pöpel auf Grund des Feinheitsgrades ergibt.

Auch die von der Versuchsanstalt für Straßenbau an der Technischen Hochschule Stuttgart[9]) verfochtene Mörteltheorie ist für die Bindemittelbemessung für Vergleichszwecke hier in diesem Falle wenig geeignet.

Die zuverlässigsten Verhältniswerte liefert, unter Angleichung an den wirklichen Zustand der Straßendecke, für diesen Zweck die Bindemittelbemessung nach dem Hohlraumgehalt der hochkomprimierten Mineralmasse bei 800 kg/cm² Preßgewicht (Bindemittelzusatz in cm³: Hohlraum in cm³).

d) Mischen und Einstampfen der Probekörper

Die Mineralmasse (für einen Druckkörper etwa 750 g, für einen Zugkörper von 16 cm² Zerreißfläche etwa 380 g Mineral) wird für Teerbeton im Wärmschrank auf 100° C (Asphaltbeton 140° C) erhitzt und 15 Min. auf dieser Temperatur gehalten (Abb. 1). Die zugehörige Menge Bindemittel wird dann in einer Kugelschale, die gleichzeitig zum Mischen dient, auf einem Luftbad ebenfalls auf 100° C bzw. 140° C erhitzt (Abb. 2). Ist die gewünschte Temperatur erreicht, schüttet man das Gestein in die Kugelschale mit dem erhitzten Bindemittel und mischt (umhüllt) mit Hilfe eines Spachtels oder Löffelspatels, bis alles Gestein genügend mit Bindemittel umhüllt ist (Abb. 3). Mischdauer bei 1500 g Bindemittel-Gesteinsgemisch = 7,5 Minuten. Dann wiegt man die erforderliche Menge Mischung für eine Probeform (je nach Raumgewicht der Mischung zwischen 780 bis 850 g bzw. 380 bis 430 g) ab und erhitzt nochmals auf 100 bzw. 140° C und stampft die Probekörper mit 20 Schlag 25 cm Fallhöhe und 12 kg Fallhammer ein (Abb. 4, 5 und 6).

Bei dem Mischvorgang ist peinlichster Wert auf eine gleiche Erhitzungsgeschwindigkeit bei allen Mischungen zu legen und genau darauf zu achten, daß die vorgeschriebenen Temperaturen eingehalten werden. Die geringsten Fehler, die hier gemacht werden, führen zu argen Streuungen[10]). Man geht am besten derart vor, daß das Erhitzen

---

[8]) Bitumen, 1932, S. 134, 156, 179.
[9]) Erdöl und Teer, 1934, S. 318.
[10]) S. a. Martin, Untersuchungen über die Bindefähigkeit bituminöser Stoffe und deren Messung. Asphalt u. Teer, 1936, S. 899.

der Bindemittel/Gesteinsmischung in einem Trockenschrank geschieht, der für Teergesteinsgemische auf 140° C, für Bitumengesteinsgemische auf 170° C gehalten wird. Sind die vorgeschriebenen Temperaturen von 100° C bzw. 140° C in den Mischungen erreicht — sie werden durch ein Thermometer, das in die Mischung eingesteckt ist, gemessen —, so wird sofort die Einstampfform gefüllt. Die Form ist nicht erwärmt, sondern auf Zimmertemperatur gehalten.

e) Wassersättigung und Druck- oder Zugfestigkeitsbestimmung

Zu je einem Versuch gehören 6 Probekörper, und zwar je 3, die nach Trockenlagerung, und je 3, die nach Wassereinwirkung bei der Erweichungspunktstemperatur des betreffenden Bindemittels der gewünschten Festigkeitsbeanspruchung ausgesetzt werden.

Nach der Herstellung (Einstampfen) lagern diese 6 Probekörper 24 Stunden an Luft bei Zimmertemperatur, danach werden 3 von ihnen im Exikator unter Wasser 3 Stunden lang im Vakuum gehalten (wassergesättigt durch Beseitigung der Luft aus den Hohlräumen). Alle 6 Körper werden daraufhin, die wassergesättigten unter Wasser, die trockenen an der Luft, 24 Stunden auf Versuchstemperatur gehalten (Kühlmaschine oder Thermostat) (Abb. 7 und 8). Daraufhin wird ihre Druck- bzw. Zugfestigkeit bestimmt. (Abb. 9, 10.)

Drucksteigerung: 8 kg/cm²/sec;

Zugsteigerung: 0,125 kg/cm²/sec.

Die Mittelwerte der 3 Proben werden in der vorn beschriebenen Art gegenübergestellt und liefern den gewünschten Verhältniswert. In

Tabelle Nr. II

Bindemittel: Anthrazenölteer $^{70}/_{80}$ Gestein: Hochofenschlacke, O/S

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²						Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung			nach Wassersättigung			in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach der Trockenlagerung
± 0	14,7	14,5	14,2	12,0	12,3	12,6	2,2	15,2%
+ 10	6,32	6,04	5,98	4,30	4,70	4,68	1,58	25,5%
+ 20	2,32	2,10	2,39	1,47	1,40	1,54	0,80	35,3%
+ 30	1,340	1,360	1,360	0,77	0,74	0,80	0,585	43,2%

Abb. 1
Erhitzen des Gesteins

Abb. 2
Erhitzung der Bindemittel

Abb. 3
Das Mischen

Abb. 4
Das Füllen der Einstampfform

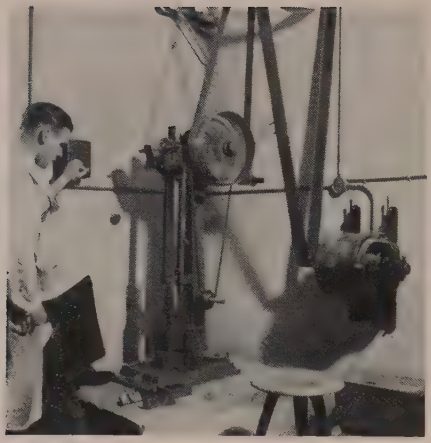
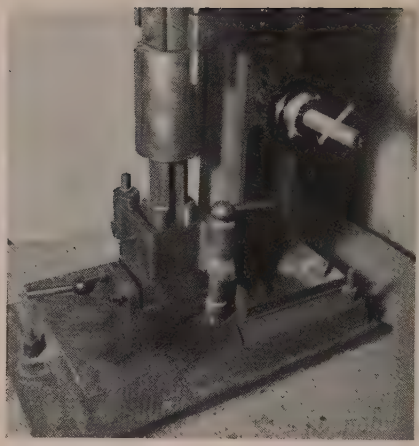


Abb. 5



Das Einstampfen der Zerreißkörper

Abb. 6

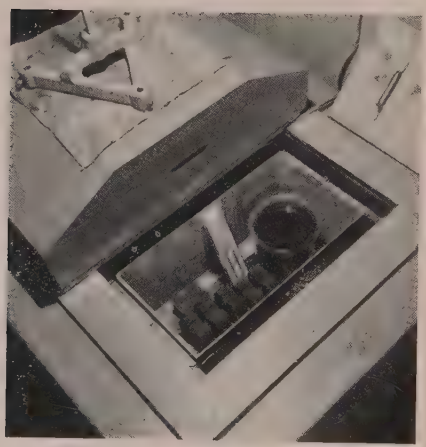
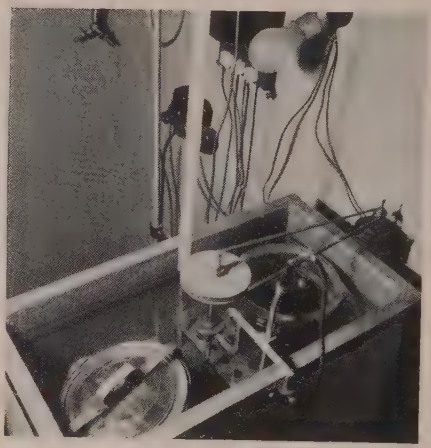


Abb. 7



Temperaturhaltung

Abb. 8

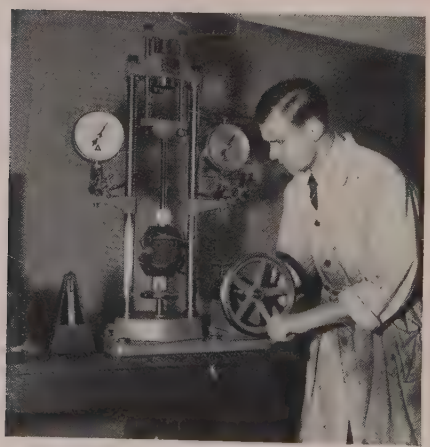
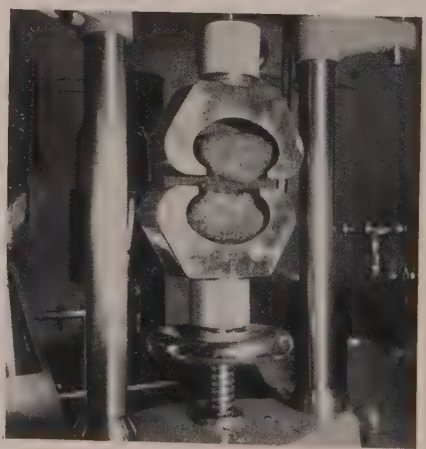


Abb. 9



Die Zugvorrichtung

Abb. 10

Tabelle II (Versuchsreihe 35) sind alle Werte einer Versuchsreihe aufgeführt, während im Anhang (s. S. 34) immer nur die Durchschnittswerte der 3 Versuchskörper angegeben sind. Erlaubt ist für die Durchschnittsberechnung eine Streuung von 5% nach oben und unten, bezogen auf den mittelsten Versuchswert (s. Tabelle II).

f) Beispiel einer Bindemittelbemessung

Granit (Häslicht) nach Mischung ST.

Hohlraumbestimmung: 150 g bei 800 kg/cm² Druck werden im Druckzylinder von 25 cm² Bodenfläche auf 2,66 cm zusammengedrückt: 25 . 2,66 = 66,5 cm³.

Raumgewicht bei 800 kg/cm² $= \frac{150}{66{,}5} = 2{,}255$;

scheinbar spezifisches Gewicht der Gesteinsmischung nach Erdmänger-Mann: 2,527.

Hohlräume = H $= 100 \cdot (1 - \frac{2{,}255}{2{,}527}) = 100 - 89{,}2 = 10{,}8$ Vol.-Proz

Auf 100 cm³ Granit kommen also 10,8 cm³ Hohlräume oder:
10,8 cm³ Bindemittel.

100 g Granit = 44,3 cm³; 1500 g Granit = 665 cm³.

665 cm³ Granit brauchen 71,9 cm³ Bindemittel.

Wetterteer: spezifisches Gewicht = 1,224.

Bindemittel/Gesteinsgemisch: 88 g Wetterteer + 1500 g Granit.

Durch das Einstampfen der Probekörper mit dem Fallhammer wird natürlich nicht der hochkomprimierte Zustand erreicht, wie er nach längerer Lagerung unter dem Einfluß des Verkehrs in einer Teer- bzw. Asphalt-Feinbetondecke, oder wie er durch Einpressen mit 800 kg/cm² vorgefunden wird. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß die Probekörper, die, wäre der der Bindemittelberechnung zugrunde gelegte Idealzustand erreicht, vollkommen dicht sein müßten, doch noch erhebliche Hohlräume aufweisen. Hier könnte leicht Abhilfe geschaffen werden, indem man die Probekörper unter den gleichen Bedingungen, wie bei der Bestimmung des Preßgewichtes, abdrückt und formt.

Es ist aber gerade das Ziel des Prüfverfahrens, dem Wasser bei der Wassersättigung möglichst günstige Einwirkungsbedingungen zu schaffen. Hierfür ist die erhöhte Porosität günstig.

3. Druckversuche zur Bestätigung der Eignung des Prüfverfahrens

Zur Bestimmung der „Bindewerte unter Wassereinwirkung" ist es an sich völlig gleichgültig, ob Druck- oder Zugversuche angestellt werden. Wesentlich ist nur, daß die Probekörper einer Beanspruchung ausgesetzt werden, die die Verschiebung der Gesteinskörner um Bruchteile eines Millimeters zur Folge hat und wobei die Kräfte, die diese Verschiebung unter Überwindung der inneren Reibung (Viskosität) einerseits und des Bindevermögens des Bindemittels am Gestein andererseits, im normalen und wassergesättigten Zustande hervorrufen, genügend genau meßbar sind. Das eigentliche Prüfverfahren wurde, wegen Materialersparnis bei der Herstellung der Probekörper, auf Zerreißversuche aufgebaut. Die Vorversuche, die die Berechtigung des Versuchsweges bestätigen sollten, wurden jedoch als Druckversuche durchgeführt, da zu Beginn der Arbeiten noch keine geeignete Zerreißmaschine zur Verfügung stand. Als Versuchsbaustoffe waren vorhanden:

a) Gesteine:

1. Quarzporphyr (Wurzen Bez. Dresden, Sachsen)
2. Basalt (Rabishau im Riesengebirge)
3. Hochofenschlacke W (Rheinland)
4. Hochofenschlacke OS (Oberschlesien)
5. Kalkstein (Kauffung a. d. Katzbach)
6. Granit (Häslicht b. Jauer).

(Siehe Tabelle I.)

b) Bindemittel:

1. Wetterteer
2. Anthrazenölteer 70/30
3. Anthrazenölteer 65/35
4. Anthrazenölteer 60/40
5. Anthrazenölteer 60/40 b
6. Straßenteer II a
7. Straßenteer II b
8. Straßenteer II c
9. Straßenteer II b
10. Straßenteer I
11. Rohteer = 1 Gew.-Teil Kokereiteer + 1 Gew.-Teil Steinkohlenteerweichpech
12. Mexphalt E
13. Spramex 300.

(Siehe Tabelle III.)

Tabelle Nr. III

Bindemittel	Spez. Gewicht	Erweichungspunkt K.S.	Viskosität 10 mm Ø bei 30 °C	bei 40 °C
Anthrazenölteer $^{70}/_{30}$	1,207	16,2 °C		$73^{8}/_{10}$ Sek.
Wetterteer	1,224	18,1 °C		90 Sek.
Anthrazenölteer $^{65}/_{35}$	1,198	12,3 °C		$37^{8}/_{10}$ Sek.
Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$	1,204	3,2 °C	$54^{5}/_{10}$ Sek.	
Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$ b	1,195	8,8 °C	$88^{8}/_{10}$ Sek.	
Straßenteer II, a	1,198	7,9 °C	$90^{5}/_{10}$ Sek.	
Straßenteer II, b	1,193	11,3 °C	98 Sek.	
Straßenteer II, c	1,184	5,7 °C	$79^{8}/_{10}$ Sek.	
Straßenteer II, d	1,188	1,0 °C	$64^{2}/_{10}$ Sek.	
Straßenteer I	1,180	— 3,3 °C	19 Sek.	
1 Gew.-Teil Kokereiteer (Rohteer) 1 Gew.-Teil Steinkohlenteerweichpech	1,188	1,3 °C	$77^{4}/_{10}$ Sek.	
Mexphalt E	1,04	41,9 °C		
Spramex 300	1,018	22,3 °C		

Der Kokereiteer zeigte folgende Zusammensetzung:

Wasser	0,58%
Leichtöle	0,88%
Mittelöle	23,90%
Schweröle	6,88%
Anthrazenöle	16,25%
Pechrückstand auf Erw.-Pkt. 67° C umgerechnet	51,51%
Phenole	4,46 Vol.-Proz.
Naphthalin	5,11 Gew.Proz.
Anthrazen	1,295 „
Kohlenstoff	5,09 „
spezifisches Gewicht	1,165

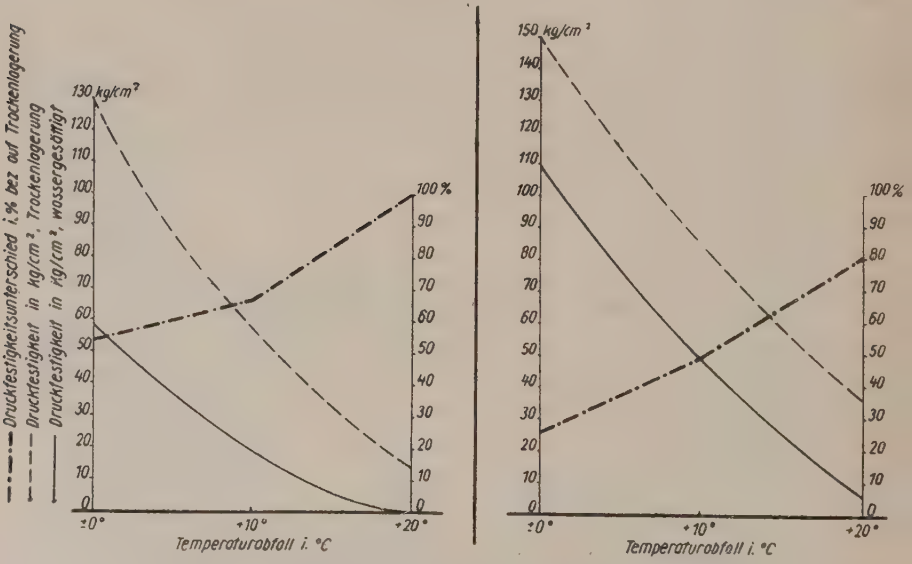
Zusammensetzung von 1 Gew.-Teil Kokereiteer + 1 Gew.-Teil Steinkohlenteerweichpech:

Wasser	Spuren
Leichtöle	Spuren
Mittelöle	22,45%

Schweröle	6,52%
Anthrazenöle	9,05%
Pechrückstand	61,98%
Erw.-Pkt. d. Pechrückstandes	102° C
Phenole	3,2 Vol.-Proz.
Naphthalin	7,63 Gew.-Proz.
Anthrazen	0,9 Gew.-Proz.
Kohlenstoff	17,3 Gew.-Proz.
spezifisches Gewicht	1,188
Viskosität bei 30° C	77⁴/₁₀ Sekunden.

Die Druckversuche wurden nur mit Granit durchgeführt.

Granit + Wetterteer nach Mischung ST und obiger Vorschrift eingestampft, wies mit steigender Temperatur eine immer schlechtere Bindefähigkeit der beiden Phasen zueinander auf. Zahlenmäßig kommt das zum Ausdruck durch Ansteigen der AD-Werte, also des prozentualen Druckfestigkeitsabfalls. Bei +20° C war insofern ein Minimum erreicht, als der Probekörper im Wasserbade zerfiel. (S. Tabelle IV, Abb. 11.)



Material: Granit I (Häslicht + Wetterteer)
links: nach 2 Tagen Lagerung rechts: nach 21 Tagen Lagerung

Abb. 11. Druckfestigkeit von Teerfeinbeton bei trockengelagerten und wassergesättigten Probewürfeln in Abhängigkeit von der Temperatur

Tabelle Nr. IV

Druckfestigkeitsabfall in kg/cm² von Probekörpern aus Teerfeinbeton durch Wassersättigung bei verschiedenen Temperaturen

Bindemittel: Wetterteer Gestein: Granit

Temperatur in °C		Druckfestigkeit in kg/cm²		Druckfestigkeitsabfall	
		nach Trocken-lagerung	nach Wasser-sättigung	in kg/cm²	in % der Druck-festigkeit nach Trockenlagerung
nach 2 Tagen Lagerung	± 0	128,0	58,9	69,1	54,0
	+ 10	58,5	19,5	39,0	66,6
	+ 20	14,2	0,0	14,2	100,0
nach 21 Tagen Lagerung	± 0	150,3	110,5	39,8	26,0
	+ 10	85,3	48,8	36,5	42,8
	+ 20	30,52	5,82	24,7	80,9

Die Brauchbarkeit der Prüfmethode wurde noch weiter untersucht, und zwar sollte ihre Empfindlichkeit gegenüber den Ursachen eines schlechten Bindevermögens (Schmutz, Wasser, Luft, quellende Bestandteile) unter Beweis gestellt werden. (S. Tabelle V und graphische Darstellung Abb. 12.)

Die Gesteinsmischung von Granit wurde vor der Umhüllung künstlich verändert und

1. mit 5 Gew.-Proz. Ton verschlämmt,
2. mit Leitungswasser erdfeucht gemacht,
3. nicht mit Wasser, sondern 1/2 molarer Na_2CO_3-Lösung gesättigt.

Die Versuche, bei ±0° C durchgeführt, bewiesen tatsächlich das schlechtere Bindevermögen dieser, an der Oberfläche des Gesteins veränderten, Bindemittel/Mineralgemische gegenüber den normalen Verhältnissen. Betrug der prozentuale Druckfestigkeitsabfall AD normal noch 54,0%, so stieg er bei Verschlämmung auf 60,7%, bei Befeuchtung auf 67,75%, um bei der Sättigung mit 1/2 molarer Sodalösung auf 74,1% zu steigen.

Tabelle Nr. V

Druckfestigkeitsabfall in kg/cm² von Probekörpern aus Teer-(Asphalt)feinbeton durch Wassersättigung bei künstlicher Veränderung der Gesteinsoberfläche. Versuchstemperatur ± 0° C

Druckfestigkeit nach	Bindemittel Mexphalt E	Bindemittel Wetterteer + 20 Vol.% Mexphalt E II		Normale Verhältnisse Bindemittel Wetterteer		Wetterteer, Mineral mit 5 Gew.% Ton verschlämmt	Mineral vor Umhüllung mit Teer künstl. angenäßt	An Stelle von H_2O mit $^1/_2$ mal Na_2O_3-Lösung gesättigt
		nach 2Tag. Lag.	nach 21Tag. Lag.	nach 2Tag. Lag.	nach 21Tag. Lag.			
Trockenlagerung	136,2	103,3	105,3	128,0	150,3	111,5	102,7	128,0
Wasserlagerung	114,8	59,8	94,6	58,9	110,5	43,8	33,2	33,2
Druckfestigkeitsabfall in % der Druckfestigkeit nach Trockenlag.	15,7	42,1	10,15	54,0	26,0	60,7	67,75	74,1

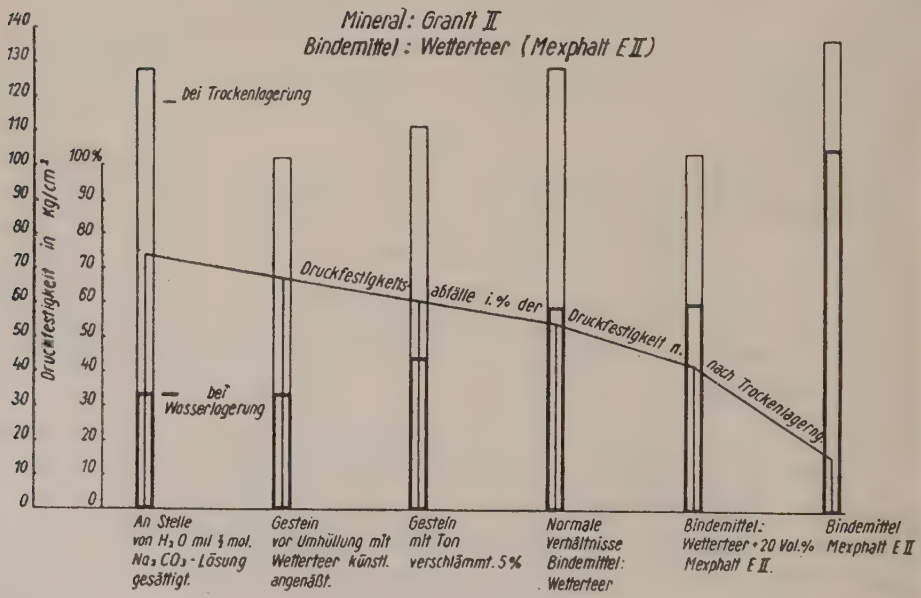


Abb. 12. Druckfestigkeitsabfall von Probekörpern durch Wassersättigung unter verschiedenen Voraussetzungen bei ± 0° C

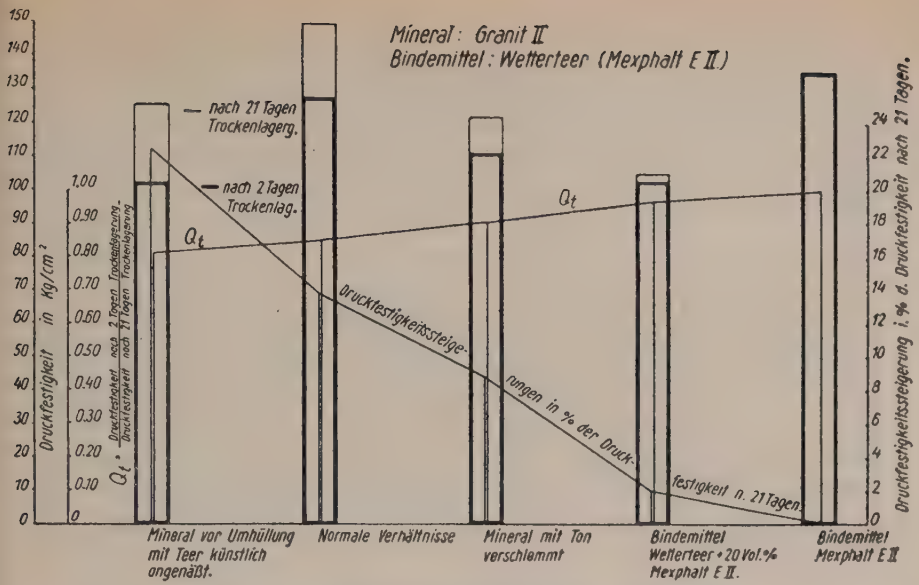


Abb. 13. Druckfestigkeitssteigerung von Probekörpern nach 2 bzw. 21 Tagen Trockenlagerung bei ± 0° C

In der gleichen Versuchsreihe wurden Mischungen mit Wetterteer, der mit 20 Vol.-Proz. Mexphalt E II gemischt war, und mit Mexphalt E II selbst untersucht. Hier war wieder das steigende Bindevermögen zu sehen, und zwar mit prozentualen Druckunterschieden von 42,1% und 15,7%.

Außerdem sind die gleichen Versuche nach 21-tägiger Lagerung der Körper bei Zimmertemperatur angestellt worden. Hier war die zunehmende Verdickung des Teeres (Höpfner[11]) durch Verharzen und Verdunsten der leichter flüchtigen Öle usw. in dem Steigen der Druckfestigkeit und Abfall der AD-Werte zu erkennen. Um diese Erscheinung für die Versuchstechnik besser verwerten zu können, wurden zwei weitere Reihen aufgestellt.

Die Prüfung nach 2 Tagen Lagerung bei Wetterteer + Granit und die Versuchsreihen der veränderten Oberflächenverhältnisse (Tabelle V u. Tabelle IV) wurden auch nach 21 Tagen Lagerung durchgeführt. Das Bild war überall das gleiche. Es trat eine Steigerung der Druckfestigkeit im allgemeinen und gleichzeitig eine Verbesserung des prozentualen Druckfestigkeitsabfalles ein (s. Tabelle IV und VI und graphische Darstellung Abb. 13).

---

[11]) Asphalt und Teer, 1935, Heft 15, 16, 17.

Hieraus ist zu entnehmen, daß bei längerer Lagerung durch die bekannte Verdickung des Teeres seine Wasserempfindlichkeit gleichfalls im entscheidenden Maße beeinflußt wird, und zwar dergestalt, daß sein Bindevermögen zum Gestein durch Alterung größer wird und die Verdrängungsgefahr durch Wasser abnimmt.

Tabelle Nr. VI

Druckfestigkeitssteigerung in kg/cm² von Probekörpern aus Teer(Asphalt)feinbeton nach 21 Tagen Lagerung, bei künstlicher Veränderung der Gesteinsoberfläche

Lagerungsdauer	Normale Verhältnisse (Wetterteer)	Mineral vor Umhüllung mit Teer künstlich angenäßt	Mineral mit 5 Gew.% Ton verschlämmt	Bindemittel Wetterteer + 20 Vol.% Mexphalt E II	Bindemittel Mexphalt E II
2 Tage	128,0	102,7	111,5	103,3	136,2
21 Tage	150,3	125,8	122,4	105,3	136,0
Druckfestigkeitssteigerung in % d. Druckfestigkeit nach 21 Tagen	14,0	18,35	8,9	1,89	0,0

Nach dem vorgeschlagenen Prüfweg werden die Versuche 2×24 Stunden nach Fertigstellung der Probekörper durchgeführt, so daß sie dem Wasser gegenüber empfindlicher sind und deutlicher beeinflußt werden, als es im allgemeinen in der Natur der Fall sein dürfte. Es ist somit in dem Versuchsergebnis ein Sicherheitsgrad enthalten, da bei Bindemittelgesteinsgemischen, die kurz nach ihrer Herstellung geprüft werden, schlechtere Bindeeigenschaften deutlicher sichtbar werden als nach längerer Lagerungszeit.

4. Zugversuche zur Bestimmung des „Bindewertes unter Wassereinwirkung"

a) Gang der Versuche

Auf den Erfahrungen der Vorversuche bauten sich die Hauptversuchsreihen auf. Diese wurden wie folgt durchgeführt:

Die Gesteins/Bindemittelgemische von Quarzporphyr, Basalt, Hochofenschlacke W, Hochofenschlacke O/S, Kalkstein und Granit mit Wetterteer, Anthrazenölteer 70/30, 60/40, Straßenteer II a, b, Straßenteer I, Rohteer, Spramex 300 und Mexphalt E wurden bei Temperatursteigerung von 10° C, von ±0° C bis über die Erweichungspunkttemperatur des jeweiligen Bindemittels hinaus, geprüft. Mit Rücksicht auf Materialersparnis gelangten Zugkörper mit 16 cm² Zerreißfläche zur Prüfung. Als Prüfmaschine diente eine hydraulische Zugmaschine der Tonindustrie, Berlin, mit Handantrieb. Die aus den Versuchswerten sich ergebenden Kurven der Zugfestigkeiten nach Trockenlagerung und nach Wassersättigung wurden mit der Erweichungspunkttemperatur nach K.S. des betreffenden Bindemittels in Beziehung gesetzt (Ordinate = Zugfestigkeit; Abszisse = Versuchstemperatur). (S. Schaubild Nr. 1 bis 51.) Die Ordinate durch den Punkt der Temperatur des Erweichungspunktes ergibt mit der Linie der ZT und ZW die Festigkeitszahlen der

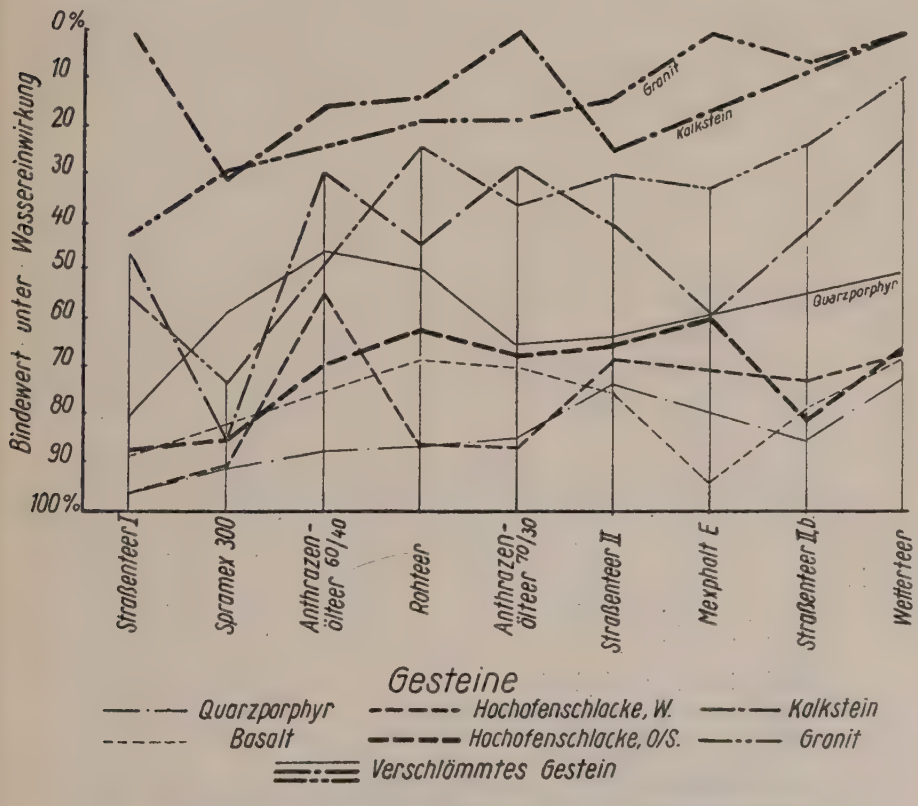


Abb. 14. Zusammenstellung der Bindewerte unter Wassereinwirkung

trocken gelagerten und wassergesättigten Probekörper bei der Temperatur des Erweichungspunktes. Setzt man die so gefundenen Werte nach der vorgeschlagenen Art in Beziehung zueinander, so erhält man die prozentuale Zugfestigkeit des Erweichungspunktes (AZ_{ep}; Schaubild Nr. 1—51). Mit steigenden Werten von AZ_{ep} ist eine Verschlechterung der Bindefähigkeit verbunden. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihen sind in den Tabellen und Schaubildern Nr. 1—51 niedergelegt. Allgemein ist es nun aber übersichtlicher, wenn mit steigenden Zahlenwerten auch auch eine Verbesserung des Bindewertes verbunden ist. Aus diesem Grunde wird: $100 - AZ_{ep}$ gesetzt und dieser Ausdruck „Bindewert unter Wassereinwirkung" genannt.

$$BWW = 100 - AZ_{ep}.$$

Neben den Werten, die sich aus der Auswertung der Versuchsreihen graphisch ergaben, wurden noch zum Vergleich die BWW einiger Bindemittel, von denen angenommen werden konnte, daß sie nicht mehr ganz einwandfrei wären, und außerdem die BWW von künstlich verschlämmten Gesteinen unmittelbar laut Versuchsbeschreibung bestimmt. Sämtliche erhaltenen BWW sind in der Tabelle VII und Abb. 14 gegenübergestellt. Sie führen zu folgendem Ergebnis:

b) Ergebnisse der Versuche (Schaubild Nr. 1—51)

1. Die Kurven der ZT-Werte (ausgezogener Strich) und der ZW-Werte (strichliert) nehmen allgemein einen regelmäßig stetigen, aber nicht parallelen Verlauf. Je weniger viskos das Bindemittel ist, desto flacher ist das Kurvenbild, und je größer der Abstand der beiden Kurven voneinander wird, und zwar sinngemäß zum Abstand der ZT-Linie von der Abszisse, desto schwächer ist die Bindefähigkeit der Gesteins-Bindemittelmischung.

2. Der prozentuale Zugfestigkeitsabfall AZ sinkt in der überwiegenden Mehrzahl der Versuche bei ansteigender Temperatur (Versuch 1 bis 51), in 7 von 51 Reihen bleibt er stetig auf ziemlich gleicher Höhe, und zwar bei:

Granit + Spramex 300	Versuch Nr. 9
Basalt + Wetterteer	Versuch Nr. 10
Basalt + Mexphalt E II	Versuch Nr. 15
Kalkstein + Anthrazenölteer 60/40	Versuch Nr. 18
Kalkstein + Straßenteer I	Versuch Nr. 21
Hochofenschlacke W + Straßenteer II b	Versuch Nr. 47
Hochofenschlacke W + Mexphalt E	Versuch Nr. 50.

Tabelle Nr. VII

Bindewerte unter Wassereinwirkung: BWW.

Erläuterung: gutes Bindevermögen: Zahlen ohne Umrandung
genügendes Bindevermögen: Zahlen mit [ ] Umrandung
schlechtes Bindevermögen: Zahlen mit [ ] Umrandung

Bindemittel	Erweichungspunkt n. K. S. in °C	Gesteine								
		Quarzporphyr	Basalt	Hochofenschlacke W	Hochofenschlacke O/S	Kalkstein	Granit	Quarzporphyr verschlämmt	Kalkstein verschlämmt	Granit verschlämmt
Straßenteer I	— 3,3	96,0 %	88,4 %	95,9 %	87,5 %	47.3 %	55,0 %	79,6 %	0 %	42 0 %
Spramex 300	22,3	90,7 %	—	90,0 %	85,5 %	86,0 %	73,4 %	58,7 %	31,0 %	28,2 %
Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$	3,2	87,5 %	—	54,5 %	69,8 %	30,0 %	48,4 %	45,8 %	16,0 %	24,0 %
Rohteer	1,3	86,6 %	68,6 %	86,9 %	62,0 %	44,4 %	24,7 %	49,2 %	13,5 %	19,0 %
Anthrazenölteer $^{70}/_{30}$	16,2	85,9 %	70,0 %	86,5 %	67,6 %	27,8 %	36,5 %	65,0 %	0 %	18,2 %
Straßenteer II, a	7,9	73,2 %	75,0 %	68,3 %	65,4 %	40,8 %	29,6 %	63,7 %	24,6 %	13,2 %
Mexphalt E	41,7	79,1 %	94,0 %	70,5 %	60,0 %	59,2 %	32,7 %	—	—	0 %
Straßenteer II, b	11,3	85,0 %	—	72,5 %	80,3 %	42.0 %	23,7 %	—	—	6,0 %
Wetterteer	18,1	72,4 %	68,4 %	67,7 %	65,5 %	22,5 %	9,5 %	49.7 %	0 %	0 %
Anthrazenölteer $^{65}/_{35}$	12,3	63,5 %	—	64,2 %	—	44,3 %	17,0 %	—	—	0 %
Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$ b	8,8	76,3 %	—	78,8 %	79,0 %	21,5 %	14,0 %	—	—	12,3 %
Straßenteer II, c	5,7	61,7 %	—	84,0 %	—	24,6 %	28,5 %	—	—	—
Straßenteer II, d	1,0	53.2 %	—	82,4 %	—	38,0 %	—	—	—	46,0 %

Nur zwei Versuchsreihen lassen ein, wenn auch ganz geringes Ansteigen erkennen. Bei Kalkstein + Straßenteer II a — Versuch Nr. 19 — beträgt die Zunahme 9,3%, bei Kalkstein + Spramex 300 — Versuch Nr. 24 — 13,2%. Wenn auch diese beiden Reihen von der allgemeinen Linie abweichen, so stören sie den Gesamteindruck der Kurvenbilder jedoch nicht, weil

3. damit der Beweis für die vorn theoretisch erläuterte Abhängigkeit der AZ-Werte von der Viskosität und deshalb von der Versuchstemperatur erbracht ist (Höpfner, Martin[12]), Oberbach[13])). So ist gleichfalls die Beziehung des „Bindewertes unter Wassereinwirkung" — BWW — als Vergleichszahl auf eine möglichst gleichmäßige Konsistenz der Bindemittel, hier der Erweichungspunkt nach K.S., gerechtfertigt.

4. Das „praktische Haften" zwischen Gestein und Bindemittel hat nichts zu tun mit der normengemäßen Güte des Bindemittels. D. h., Bindemittel, die den Normen vollkommen entsprechen, brauchen durchaus nicht gute bindende Eigenschaften aufzuweisen und umgekehrt. So zeigt Straßenteer II b, der zuviel Phenole (3,3%) enthält und einen zu geringen Pechgehalt (54% auf 67° C nach K.S. umgerechnet) aufweist, mit Quarzporphyr, Hochofenschlacke W, O/S und Kalkstein bessere BWW, als Straßenteer II a, der die Bedingungen der Normen erfüllt. Das Bindemittel, das aus Kokereiteer und Steinkohlenteerweichpech zusammengesetzt ist und kurz als Rohteer bezeichnet wurde, zeigt allgemein bessere BWW als Anthrazenölteer 70/30, Straßenteer II a, b, Mexphalt E und Wetterteer (Tabelle VII). Man kann also nicht behaupten, daß j e d e s normengemäße Bindemittel mit j e d e m einwandfreien Gesteinsmaterial gute BWW aufweisen muß, sondern das Bindevermögen als Wechselwirkung zwischen Bindemittel/Gestein ist hauptsächlich ein Produkt der guten Uebereinstimmung (Abstimmung) beider beteiligten Faktoren (Oberbach).

5. Der Unterschied der BWW zwischen den einzelnen Gesteinsgruppen (Tabelle VII) und zwar Quarzporphyr, Basalt, Hochofenschlacke W, O/S einerseits und Kalkstein, Granit andererseits, ist auffallend. Gleichfalls liegen die BWW der Bindemittel unter sich in den einzelnen Gesteinsgruppen weit auseinander. Der Unterschied der BWW bei den Bindemittel/Gesteinsmischungen beträgt so zwischen den höchsten und niedrigsten BWW für:

---

[12]) s. Fußnote 10.
[13]) Teer und Bitumen, 1936, Heft 24, 25.

Quarzporphyr	42,8% BWW
Basalt	25,6% BWW
Hochofenschlacke W	41,4% BWW
Hochofenschlacke O/S	37,5% BWW
Kalkstein	64,5% BWW
Granit	63,9% BWW

6. Die BWW der Bindemittel lassen einzeln für sich mit den Gesteinen eine gewisse Stetigkeit erkennen. In der Tabelle VII sind daher die Bindemittel nach fallenden BWW geordnet. Da Straßenteer I mit fast allen Gesteinen die besten BWW zeigt, steht er an erster Stelle, dann folgt Spramex 300 u. s. f. In dieser Eingruppierung erkennt man bei einigen Bindemitteln besonders hervorstechende BWW: So ist das allgemeine schwache Bindevermögen von Wetterteer im Vergleich zu dem guten von Spramex 300 und Straßenteer I auffallend.

7. Die BWW der Anthrazenölteere 65/35, 60/40 b, Straßenteer II c, d, die wegen ihrer langen Lagerung — sie wurden schon 3 bis 4 Jahre im Institut aufbewahrt — gelitten haben können, liegen gegenüber den anderen Bindemitteln zum großen Teil tiefer.

8. Aus 5., 6. und 7. geht hervor, daß die Ansicht Riedel und Weber's: „Das Haftvermögen zwischen Gestein und Bindemittel ist letzten Endes auf die chemischen Eigenschaften allein der Gesteine zurückzuführen". als zu einseitig angesehen werden muß. Wenn es auch richtig ist, daß die Gesteine bei dem Bindeproblem die wichtigere Rolle spielen, so ist doch der Einfluß der Teere und Bitumina nicht zu unterschätzen. Quarzporphyr, Basalt und die beiden Hochofenschlacken sind als gut bindende Gesteine zu bezeichnen. Trotzdem aber sind ihre BWW mit einigen Bindemitteln auch nur mittelmäßig (genügend). Kalkstein und Granit — es sind dabei nur die hier untersuchten Gesteine gemeint — sind zum bituminösen Straßenbau weniger geeignet. Ihre BWW mit Spramex 300 sind trotzdem als gut und die von Kalkstein mit Straßenteer I, Straßenteer II a, Mexphalt E, Straßenteer II b und Granit mit Straßenteer I, Anthrazenölteer 60/40, 70/30, immerhin als brauchbar zu bezeichnen (genügend). Es wäre daher verfehlt, diese Gesteine für den bituminösen Straßenbau vollkommen zu verwerfen, da bei geeigneter Bindemittelwahl noch genügende Bindefähigkeit mit Granit und Kalkstein zu erreichen ist. Die beiden Gesteine könnten nach der getroffenen Feststellung beim Bau leichter Straßendecken Verwendung finden, z. B. als Streumakadam, wobei die mit Spramex 300 umhüllten Splitte zur Anwendung kämen und die Oberflächenbehandlung mit Straßen-

teer I vorgenommen werden müßte. Aber auch Tränkmakadamdecken bei Kalkstein mit Straßenteer II a, b, und bei Granit mit Anthrazenölteer 60/40, 70/30 könnten ohne Bedenken gebaut werden. Bei Kalkstein liegen sogar schwere Bauweisen (Asphaltfein- bzw. Grobbeton) mit Mexphalt E II als Bindemittel im Bereich des Erlaubten. Oberbachs Anschauung ist hier als gleichlaufend anzusehen[14]).

9. Zur besseren Übersichtlichkeit in der Bewertung der Güte der BWW wird eine Dreiteilung in gut, genügend und schlecht vorgeschlagen, und zwar umfaßt die Gruppe „gut": BWW von 100—60%, die Gruppe „genügend": BWW von 60—40%, die Gruppe „schlecht": BWW von 40—0%. Diese Zahlen geben nur einen gewissen Anhalt, da die eigentliche Klassifizierung schon allein durch die Zahlrenreihe 0% — 100% angezeigt ist. Die Eingruppierung in „gut" von BWW 100—60% findet ihre praktische Begründung durch die BWW der Gesteine Quarzporphyr, Basalt, Hochofenschlacke W, O/S. Sie liegen mit Ausnahme des BWW Hochofenschlacke W/Anthrazenölteer 60/40 mit 54,5% und Quarzporphyr/Straßenteer II b mit 53,2% in diesen Grenzen. Im Gegensatz hierzu weisen die Gesteine Kalkstein und Granit den Weg für eine weitere Unterteilung. Die BWW sind hier weitaus schlechter, obwohl sich einige den vorigen 4 Gruppen angleichen. Durch die Versuche ist eine Grenze bei BWW = 40% für gerechtfertigt anzusehen. Folgende Verbindungen würden demnach schlechte BWW aufweisen: Kalkstein mit Anthrazenölteer 60/40, b, 70/30, Wetterteer, Straßenteer II c, d. Granit mit Rohteer, Anthrazenölteer 70/30, 65/35, 60/40 b, Straßenteer II a, II b, II c, Wetterteer, Mexphalt E.

Auch die Gemische Kalkstein/Straßenteer II a mit BWW 40,8% und Kalkstein/Straßenteer II b mit BWW 42,0% mahnen zur Vorsicht.

10. Die schädliche Wirkung von quellenden Zwischenschichten, hervorgerufen durch tonige Bestandteile, Staub, Schmutz usw. (s. vorn) in oder auf Gestein und Bindemittel, im bituminösen Straßenbau, ist durch drei Versuchsreihen deutlich erkennbar gemacht.

Quarzporphyr, Kalkstein und Granit wurden künstlich verschlämmt und ihre BWW denen des sauberen Gesteines gegenübergestellt. Bei allen drei Gruppen ist ein beachtlicher Rückgang des Bindevermögens zu bemerken. Verschlämmter Kalkstein ist vollkommen schlecht, während Quarzporphyr, dessen Bindemittelgemische in sauberem Zustande die besten Bindewerte aufweisen, an Bindevermögen stark einbüßt, so daß vier von seinen sieben untersuchten Bindemittel-Gesteinsgemischen

[14]) Teer und Bitumen, 1936, S. 271, 287.

nur noch in die Gruppe „genügend" fallen. Verschlämmter Granit ist ebenfalls vollkommen schlecht, denn auch seine BWW mit Straßenteer I (42%) und Straßenteer II d (46%), die an sich noch in die Gruppe „genügend" fallen, liegen hart an der Grenze des Erlaubten.

Diese indirekte Prüfung ist eine weitere Bestätigung für das empfindliche Ansprechen und die Brauchbarkeit des vorgeschlagenen Prüfverfahrens.

Zusammengefaßt ergibt sich folgendes Endergebnis:

C. Auswertung der Untersuchungen

Die Haftfestigkeitstheorie allein nach chemischen Gesichtspunkten ist als zu einseitig und unvollkommen anzusehen. Sie glaubt, allein dem Gestein als solchem auf Grund der Hydrophilie oder Hydrophobie einen Haftfestigkeitswert beimessen zu können, ohne Rücksicht auf die Art des Bindemittels zu nehmen.

Das Verfahren zur Untersuchung der Bindemittel auf ihre „Bindefähigkeit", das Martin entwickelt hat, kann auch nur zum geringen Teil bei der Lösung des Problems der Beziehungen von Gestein zu Bindemittel mit benutzt werden, da es zu einseitig auf die Eigenschaften der Bindemittel eingestellt ist. Es wird nämlich nur immer ein einzelnes einheitliches Mineralgemisch — Seesand — zur Prüfung herangezogen.

Nach den Vorversuchen und Studien bildeten folgende Anschauungen den Kernpunkt dieser Arbeit:

Reine und absolute Haftfestigkeitszahlen zu bestimmen ist zwecklos, da bei sauberem Gesteinsmaterial und einwandfreien Bindemitteln Zerstörung durch die Überwindung des Klebevermögens nie eintreten kann. Bei geeigneter Auswahl der Bindemittel, unter Berücksichtigung der Viskosität und eventueller Abstimmung durch Zugabe von Füller, sind mit jedem einwandfreien Gestein gute Straßen zu bauen.

Die reine Haftfestigkeit, die physikalisch als Adhäsion bestimmt wird, oder die Klebefähigkeit, unter welchem Begriff bei den bituminösen Bindemitteln die Summe der Adhäsions- und Kohäsionskräfte verstanden werden soll, sind so groß, daß sie zu Schäden in der Praxis nie Anlaß geben. Es interessiert nur das „praktische Haftvermögen" zwischen Gestein und Bindemittel, bei dessen Bestimmung Wasser, Verwitterung, Zerstörung, Verschmutzung usw. von Gestein und Bindemittel Berücksichtigung finden und die Baustoffe in dem Zustand geprüft werden, wie sie an der Baustelle anfallen. Die praktische Wechsel-

wirkung zwischen Gestein und Bindemittel wird mit „Bindefähigkeit unter Wassereinwirkung" und die Zahl, mit der diese Bindefähigkeit bestimmt wird: „Bindewert unter Wassereinwirkung", abgekürzt BWW, bezeichnet. Die Prüfung selbst hat folgenden Aufbau:

Aus dem zu untersuchenden Gestein werden die geforderten Körnungen ausgesiebt und danach das Gesteinsgerüst für einen Teer- bzw. Asphaltfeinbeton nach der festgelegten Siebkurve ST zusammengesetzt.

Körnung	Gewichtsproz. Gestein
0,00 — 0,09 mm	17,0
0,09 — 0,2 mm	6,0
0,2 — 1,0 mm	15,0
1,0 — 3,0 mm	22,0
3,0 — 10,0 mm	40,0

Die zugehörige Bindemittelmenge wird auf Grund des Hohlraumgehaltes der hochkomprimierten Mineralmasse bei 800 kg/cm² bemessen. Gestein und Bindemittel werden nun getrennt — bei Teer auf 100° C, bei Bitumen auf 140° C — erhitzt. Ist die geforderte Temperatur erreicht, so wird das Gestein in die das Bindemittel enthaltende Kugelschale gefüllt und die beiden Stoffe werden sorgsamst miteinander gemischt. Nun wird die erforderliche Menge Bindemittel/Gesteinsgemisch für je 6 Probekörper — etwa 380 bis 430 g — abgewogen und noch einmal auf 100° C bzw. 140° C erhitzt, um danach in die Probeform eingefüllt zu werden. Danach wird mit dem Fallhammer eingestampft. Nach 24-stündiger Lagerung der 6 Probekörper bei Zimmertemperatur werden 3 von ihnen wassergesättigt. Diese Körper werden unter Wasser, die anderen drei in trockenem Zustande 24 Stunden auf der Temperatur des Erweichungspunktes nach K.-S. des betreffenden Bindemittels gehalten. Jetzt werden die Körper zerrissen. Die Mittelwerte der Zerreißfestigkeiten aus je 3 Proben ergeben nach der Formel:

$$AZ_{ep} = \frac{ZT_{ep} - ZW_{ep}}{ZT_{ep}} \cdot 100$$

den „Bindewert unter Wassereinwirkung" und zwar:

$$BWW = 100 - AZ_{ep}.$$

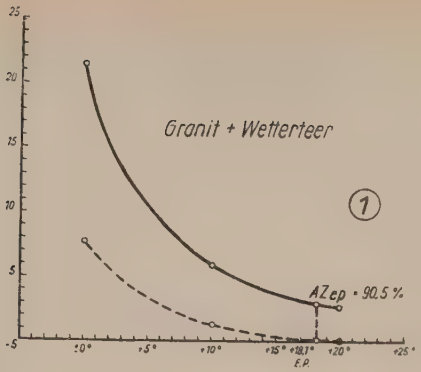
Zur besseren Übersicht wurde als Ergebnis der Versuchsreihen (s. Tabelle VII) eine Dreiteilung bei der Bewertung der BWW angenommen:

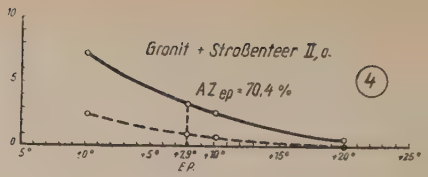
BWW 100 — 60% = gut,
BWW 60 — 40% = genügend,
BWW 40 — 0% = schlecht.

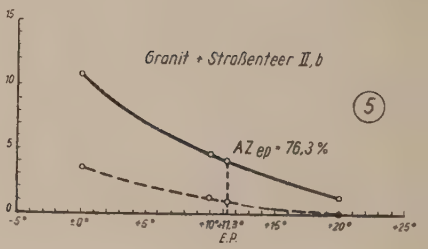
Als Endergebnis der Versuche ist festzustellen, daß hauptsächlich die Gesteine das Bindevermögen bestimmen. Es bestätigen sich somit die Erfahrungen der Praxis sowie die Herrmann's, Oberbachs, Riedel und Weber's u. a. m. Aber auch die Bindemittel sind von nicht zu unterschätzendem Einflusse. Es ist daher nicht zu verantworten, irgendein Gestein vom bituminösen Straßenbau auszuschalten, wenn es mit diesem oder jenem Bindemittel keine ausreichenden BWW aufweist. Es muß vielmehr versucht werden, danach zu forschen, mit welchem Bindemittel es genügende oder gute BWW zeigt. Der Untersuchungsweg hierfür ist mit dem ausgebildeten Verfahren gefunden, das deshalb meines Erachtens geeignet ist, eine Lücke in der Reihe der bisherigen Prüfverfahren zu schließen. Es ist jetzt möglich, über die praktische Wechselwirkung zwischen Gestein und Bindemittel und die Eignung der beteiligten Stoffe zum bituminösen Straßenbau, soweit es ihre Bindefähigkeit angeht, eindeutigen Aufschluß zu geben.

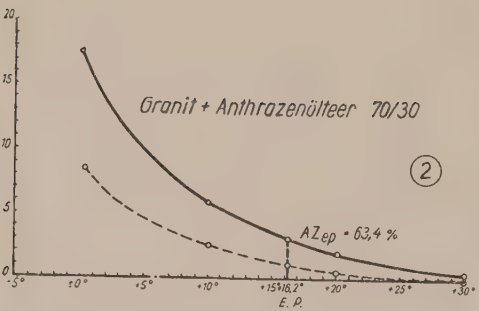
Anhang

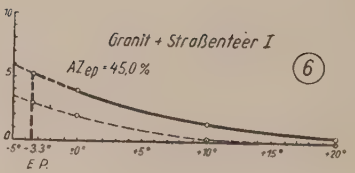
Versuche und Schaubilder Nr. 1—51

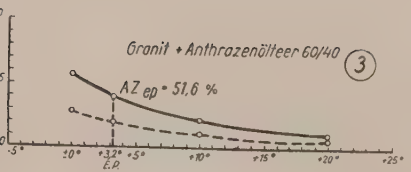


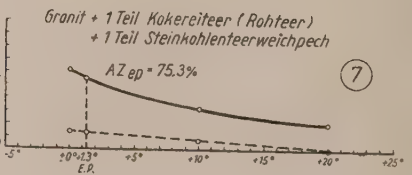












Versuche Nr. 1—7

Abszisse: Temperatur in °C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 1
Probekörper: Granit + Wetterteer

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
0	21,50	7,65	13,85	64,5
10	5,81	1,20	4,61	79,5
20	2,63	0,00	2,63	100,0

Versuch Nr. 2
Probekörper: Granit + Anthrazenölteer $^{70}/_{30}$

0	17,33	8,80	8,53	49,1
10	5,84	2,54	3,30	56,5
20	1,82	0,53	1,29	71,2
30	0,44	0,00	0,44	100,0

Versuch Nr. 3
Probekörper: Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$ + Granit

0	5,50	2,65	2,85	51,8
10	1,97	0,87	1,10	55,8
20	0,790	0,312	0,478	60,4

Versuch Nr. 4
Probekörper: Straßenteer II, a + Granit

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	7,06	2,40	4,66	66,0
+ 10	2,52	0,591	1,929	76,5
+ 20	0,44	0,00	0,44	100,0

Versuch Nr. 5
Probekörper: Straßenteer II, b + Granit

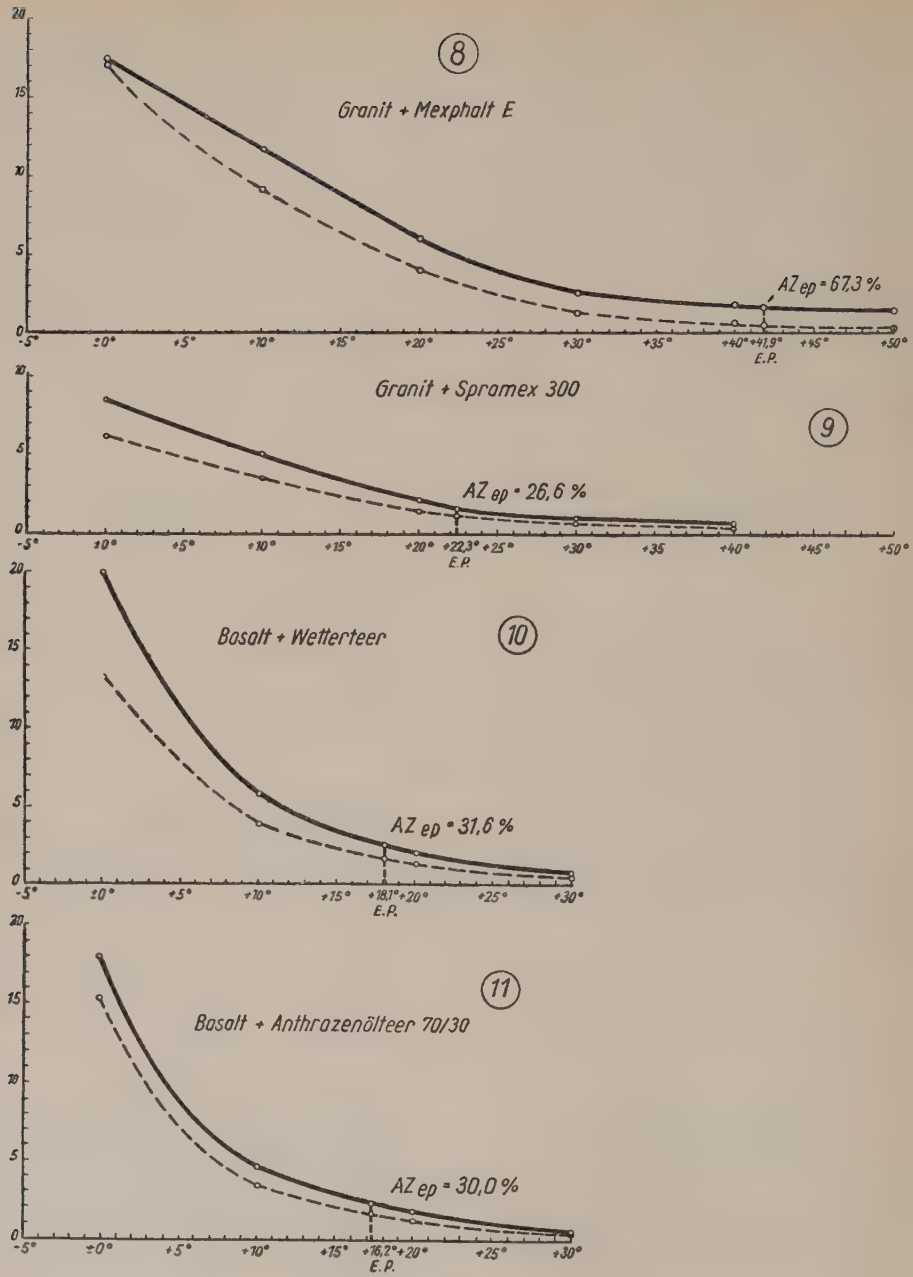
± 0	10,95	3,61	7,34	67.0
+ 10	4,64	1,24	3,40	73,4
+ 20	1,24	0,00	1,62	100,0

Versuch Nr. 6
Probekörper: Straßenteer I + Granit

± 0	3,90	1,99	1,91	49,0
+ 10	1,51	0,229	1,281	80,5
+ 20	0,391	0,000	0,391	100,0

Versuch Nr. 7
Probekörper: 1 Teil Kokereiteer + Granit
1 Teil Steinkohlenteer Weichpech + Granit

± 0	6,19	1,54	4,65	75,0
+ 10	3,20	0,75	2,45	76,4
+ 20	2,01	0,00	2.01	100,0



Versuche Nr. 8—11

Abszisse: Temperatur in ° C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 8
Probekörper: Mexphalt E + Granit

...	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
0	17,50	17,10	0,40	2,3
10	11,60	9,10	2,50	21,55
20	5,89	4,06	1,83	31,1
30	2,14	1,18	0,96	44,8
40	1,79	0,61	1,18	66,0
50	0,84	0,24	0,60	71,5

Versuch Nr. 9
Probekörper: Spramex 300 + Granit

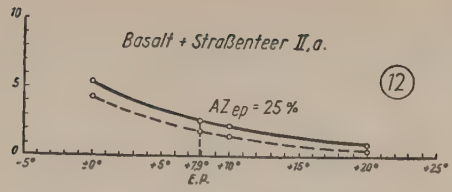
0	8,56	6,20	2,36	27,5
10	5,21	3,83	1,38	25,5
20	2,14	1,57	0,57	26,6
30	0,90	0,57	0,33	26,7
40	0,606	0,426	0,180	29,7

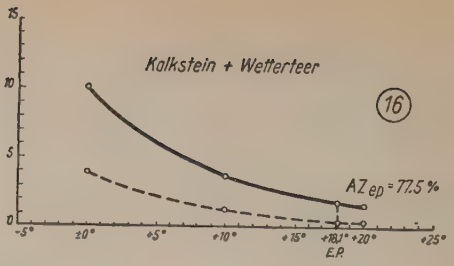
Versuch Nr. 10
Probekörper: Wasserteer + Basalt

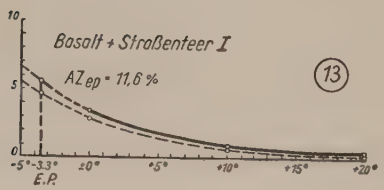
Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	19,80	13,10	6,70	33,8
+ 10	5,88	3,93	1,95	33,2
+ 20	1,880	1,335	0,545	29,0
+ 30	0,58	0,42	0,16	27,6

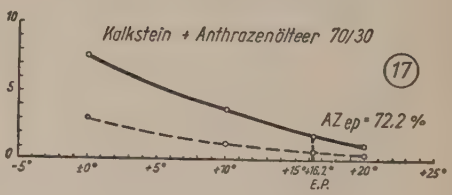
Versuch Nr. 11
Probekörper: Anthrazenölteer $^{70}/_{80}$ + Basalt

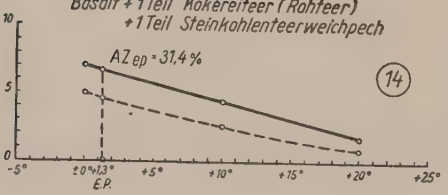
± 0	18,00	15,40	2,60	14,5
+ 10	4,70	3,63	1,07	22,8
+ 20	1,840	1,286	0,554	33,1
+ 30	0,63	0,36	0,27	42,9

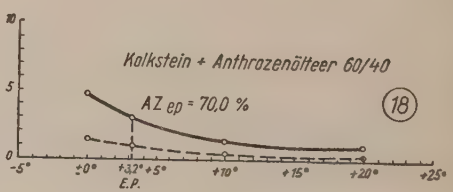


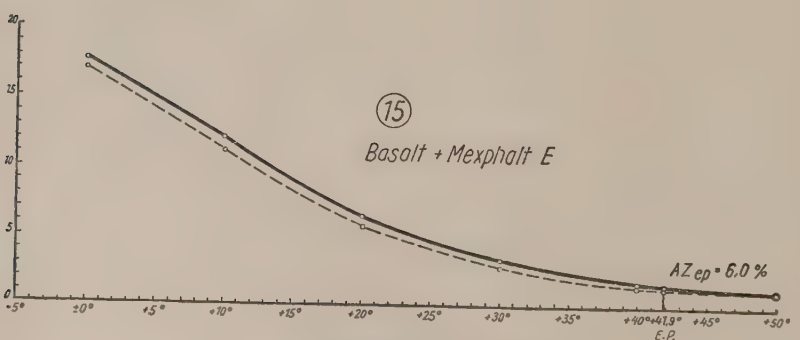












Versuche Nr. 12—18

Abszisse: Temperatur in ° C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 12
Probekörper: Straßenteer II, a + Basalt

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
0	5,11	4,24	0,87	17,0
10	2,07	1,54	0,53	25,6
20	0,830	0,405	0,425	51,2

Versuch Nr. 13
Probekörper: Straßenteer I + Basalt

0	3,33	2,98	0,35	10,5
10	0,97	0,82	0,05	15,15
20	0,455	0,320	0,135	29,7

Versuch Nr. 14
Probekörper: 1 Teil Kokereiteer (Rohteer)
+ 1 Teil Steinkohlenteerweichpech + Basalt

0	7,06	4,99	2,07	29,3
10	4,34	2,62	1,72	39,4
20	1,64	0,87	0,77	46,9

Versuch Nr. 15
Probekörper: Mexphalt E + Basalt

0	17,5	17,1	0,40	2,3
10	12,1	10,9	1,20	9,9
20	6,30	5,55	0,75	11.9
30	3,25	2,70	0,55	16,9
40	1,71	1,51	0,20	11,7
50	1,01	1,01	0,00	0,0

Versuch Nr. 16
Probekörper: Wetterteer + Kalkstein

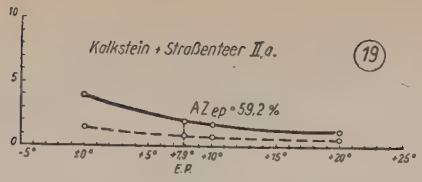
Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	9,99	3,82	6,17	61,8
+ 10	3,63	1,22	2,41	66,5
+ 20	1,483	0,254	1,229	83,0

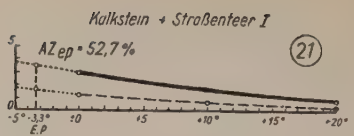
Versuch Nr. 17
Probekörper: Anthrazenölteer $^{70}/_{30}$ + Kalkstein

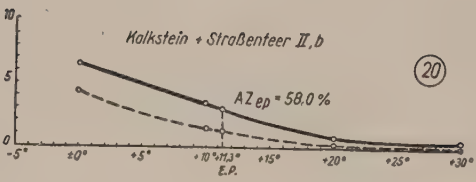
± 0	7,5	2,9	4,6	61,3
+ 10	3,46	1,07	2,39	69,0
+ 20	0,963	0,240	0,723	75,3

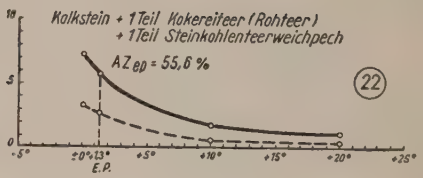
Versuch Nr. 18
Probekörper: Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$ + Kalkstein

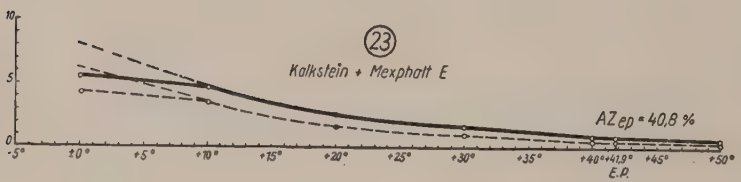
± 0	4,77	1,40	3,37	70,7
+ 10	1,310	0,412	0,898	68,5
+ 20	1,050	0,337	0,713	67,8

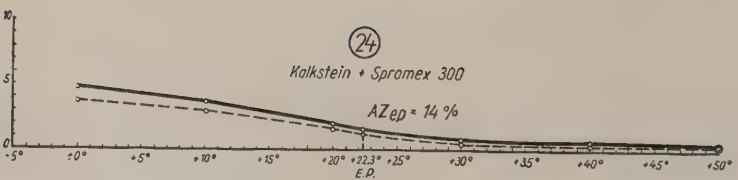












Versuche Nr. 19—24

Abszisse: Temperatur in ° C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 19
Probekörper: Straßenteer II, a + Kalkstein

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	3,75	1,36	2,39	63,6
10	1,620	0,668	0,952	58,7
20	1,050	0,480	0,570	54,3

Versuch Nr. 20
Probekörper: Straßenteer II, b + Kalkstein

± 0	6,53	4,32	2,21	34,1
10	3,375	1,485	1,890	56,1
20	0,700	0,236	0,464	66,3
30	0,410	0,000	0,410	100,0

Versuch Nr. 21
Probekörper: Straßenteer I + Kalkstein

± 0	2,880	1,355	1,525	53,0
10	1,680	0,744	0,936	55,7
20	0,812	0,361	0,451	55,6

Versuch Nr. 22
Probekörper: 1 Teil Kokereiteer (Rohteer) + 1 Teil Steinkohlenteerweichpech + Kalkstein

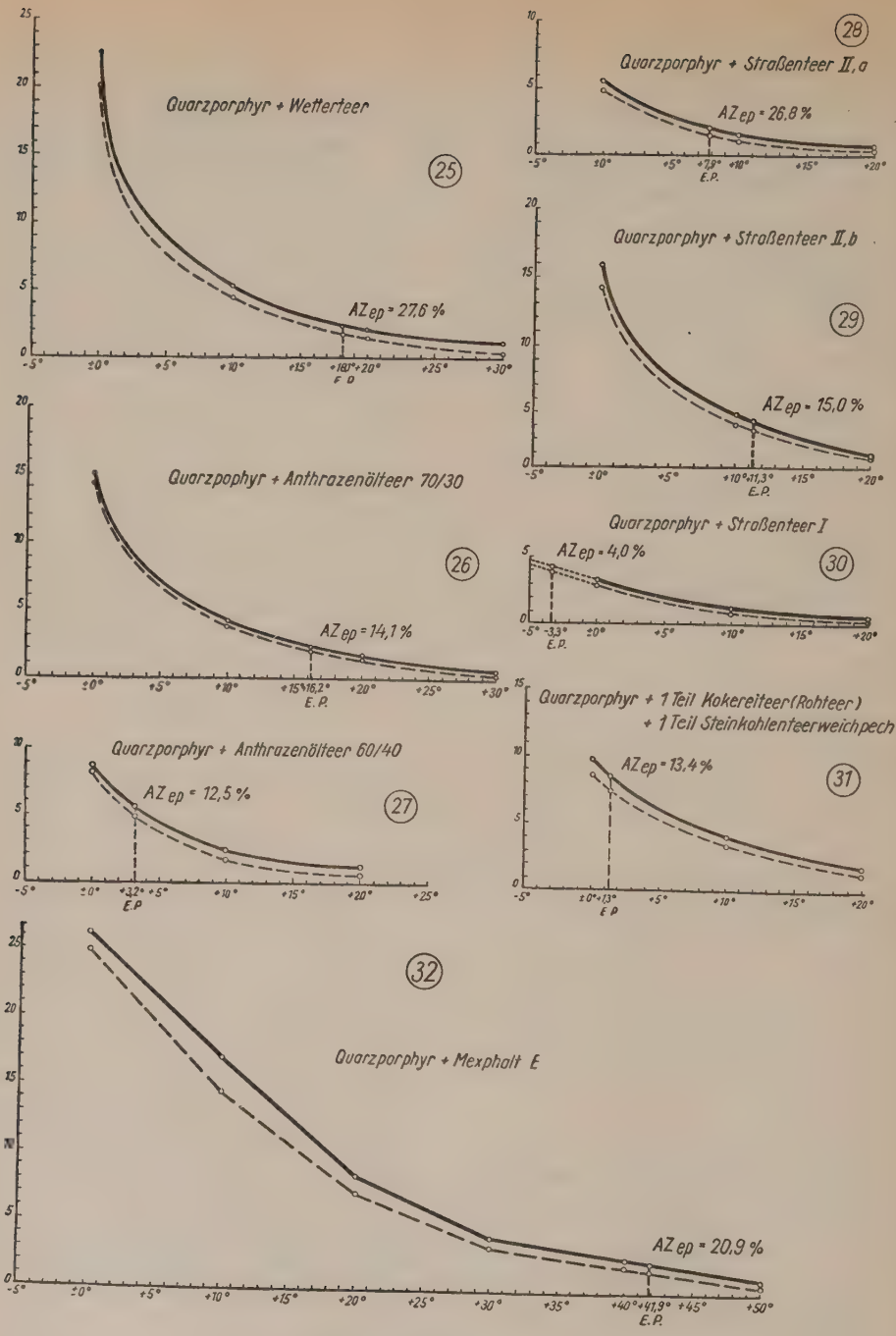
± 0	7,14	3,24	3,90	54,6
10	1,660	0,588	1,072	64,6
20	1,073	0,361	0,712	66,4

Versuch Nr. 23
Probekörper: Mexphalt E + Kalkstein

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	kg/cm² in	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	5,38	4,33	1,05	19,6
+ 10	4,73	3,34	1,39	29,4
+ 20	2,56	1,72	0,84	31,5
+ 30	1,705	1,050	0,655	38,4
+ 40	0,700	0,421	0,279	39,9
+ 50	0,525	0,285	0,240	45,7

Versuch Nr. 24
Probekörper: Spramex 300 + Kalkstein

± 0	4,68	3,64	1,04	22,2
+ 10	3,59	2,84	0,75	20,9
+ 20	1,840	1,575	0,265	14,4
+ 30	0,482	0,419	0,063	13,1
+ 40	0,378	0,338	0,040	10,6
+ 50	0,265	0,241	0,024	9,0



Versuche Nr. 25 – 32

Abszisse: Temperatur in ° C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 25
Probekörper: Wetterteer + Quarzporphyr

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
0	22,4	19,9	2,5	11,2
10	5,12	4,24	0,88	17,2
20	1,97	1,36	0,61	31,0
30	1,005	0,216	0,216	78,4

Versuch Nr. 26
Probekörper: Anthrazenölteer $^{70}/_{30}$ + Quarzporphyr

0	14,95	14,40	0,55	3,7
10	4,11	3,78	0,33	8,05
20	1,66	1,31	0,35	21,1
30	0,526	0,277	0,249	47,3

Versuch Nr. 27
Probekörper: Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$ + Quarzporphyr

0	8,56	8,13	0,43	5,0
10	2,28	1,62	0,66	28,9
20	1,120	0,683	0,437	39,1

Versuch Nr. 28
Probekörper: Straßenteer II, a + Quarzporphyr

0	5,5	4,9	0,6	10,9
10	1,705	1,180	0,525	30,8
20	0,744	0,421	0,323	43,4

Versuch Nr. 29
Probekörper: Straßenteer II, b + Quarzporphyr

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	14,7	13,2	1,5	10,2
+ 10	3,68	3,18	0,50	13,6
+ 20	1,31	0,90	0,41	31,3

Versuch Nr. 30
Probekörper: Straßenteer I + Quarzporphyr

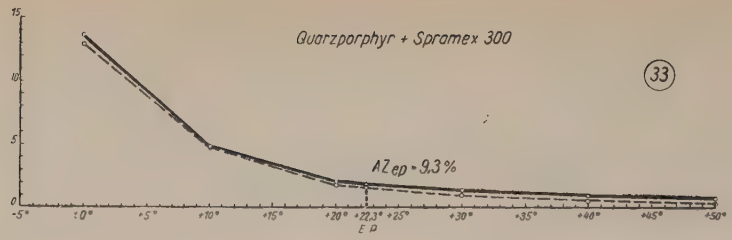
± 0	3,10	2,93	0,17	5,5
+ 10	1,138	0,874	0,264	23,2
+ 20	0,455	0,287	0,168	36,9

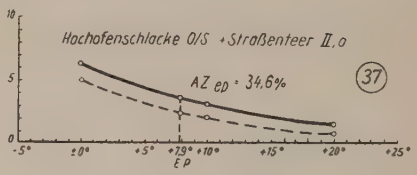
Versuch Nr. 31
Probekörper: 1 Teil Kokereiteer (Rohteer) + 1 Teil Steinkohlenteerweichpech + Quarzporphyr

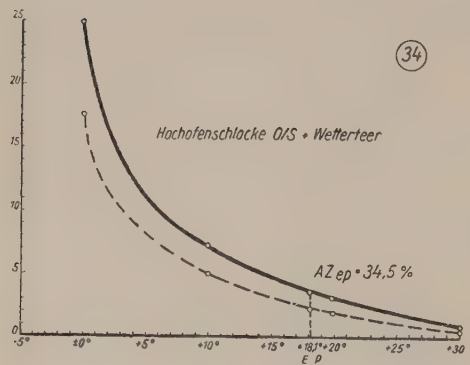
± 0	9,45	8,25	1,20	12,7
+ 10	3,90	3,20	0,70	17,8
+ 20	1,67	1,27	0,40	24,0

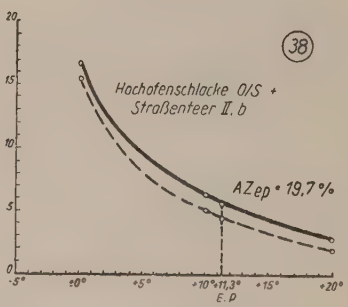
Versuch Nr. 32
Probekörper: Mexphalt E + Quarzporphyr

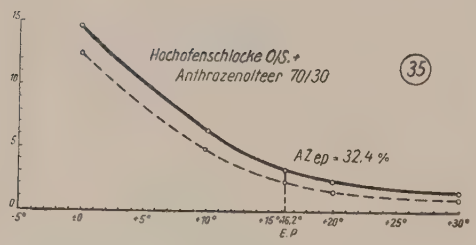
± 0	26,3	25,0	1,30	4,9
+ 10	17,10	14,55	2,55	14,9
+ 20	8,53	7,13	1,40	16,45
+ 30	3,98	3,24	0,74	18,6
+ 40	2,50	1,99	0,51	20,4
+ 50	1,110	0,854	0,256	23,1

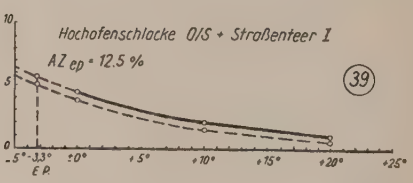


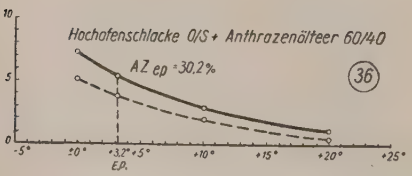


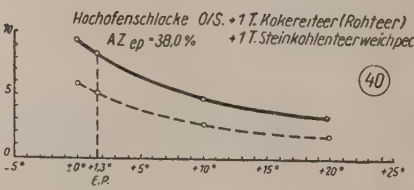












Versuche Nr. 33—40

Abszisse: Temperatur in °C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 33
Probekörper: Spramex 300 + Quarzporphyr

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
0	13,6	13,0	0,6	4,4
10	4,79	4,76	0,03	6,3
20	1,89	1,75	0,24	7,4
30	1,250	1,025	0,225	18,0
40	0,833	0,568	0,265	31,8
50	0,456	0,253	0,203	44,5

Versuch Nr. 34
Probekörper: Wetterteer + Hochofenschlacke O/S

0	24,80	17,56	7,24	29,1
10	7,14	4,85	2,29	32,1
20	3,11	2,01	1,10	35,4
30	0,920	0,544	0,376	40,8

Versuch Nr. 35
Probekörper: Anthrazenölteer $^{70}/_{30}$ + Hochofenschlacke O/S

0	14,5	12,3	2,2	15,2
10	6,17	4,59	1,58	25,5
20	2,27	1,47	0,80	35,3
30	1,355	0,770	0,585	43,2

Versuch Nr. 36
Probekörper: Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$ + Hochofenschlacke O/S

0	7,14	5,06	2,08	29,1
10	2,80	1,84	0,96	34,3
20	0,965	0,409	0,556	57,7

Versuch Nr. 37
Probekörper: Straßenteer II, a + Hochofenschlacke O/S

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	6,06	4,71	1,35	22,2
+ 10	3,000	1,877	1,123	37,5
+ 20	1,230	0,568	0,662	54,0

Versuch Nr. 38
Probekörper: Straßenteer II, b + Hochofenschlacke O/S

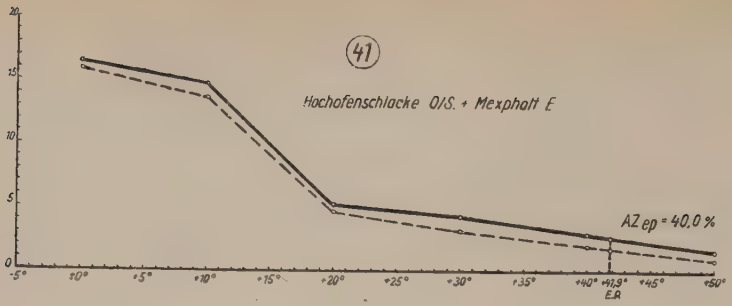
± 0	16,70	15,52	1,18	7,1
+ 10	6,19	5,07	1,12	18,1
+ 20	2,83	1,97	0,96	32,8

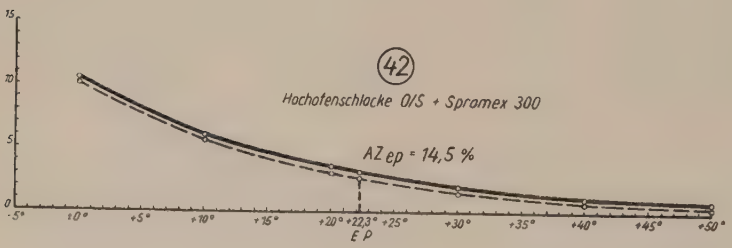
Versuch Nr. 39
Probekörper: Straßenteer I + Hochofenschlacke O/S

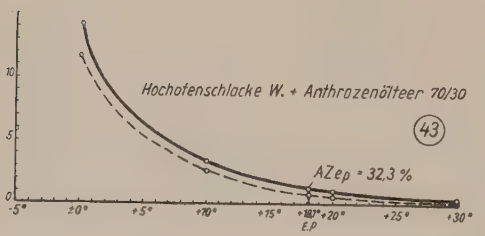
± 0	4,31	3,75	0,56	13,0
+ 10	1,86	1,48	0,38	20,4
+ 20	0,832	0,500	0,332	39,9

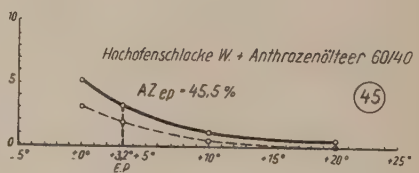
Versuch Nr. 40
Probekörper: 1 Teil Kokereiteer (Rohteer) + 1 Teil Steinkohlenteerweichpech + Hochofenschlacke

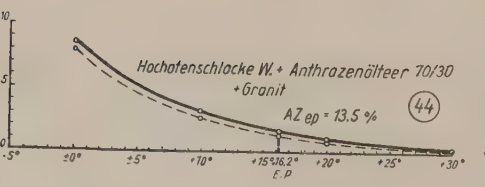
± 0	9,25	5,75	3,50	37,8
+ 10	4,67	2,69	1,98	42,5
+ 20	3,11	1,70	1,41	45,4

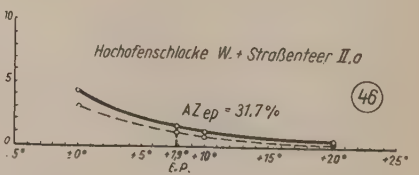












Versuche Nr. 41—46

Abszisse: Temperatur in ° C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 41
Probekörper: Mexphalt E + Hochofenschlacke O/S

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
0	16,55	16,00	0,55	3,3
10	14,7	13,7	1,0	6,8
20	5,190	4,511	0,679	13,1
30	4,42	3,11	1,31	29,6
40	2,80	1,75	1,05	37,8
50	1,45	0,82	0,63	43,5

Versuch Nr. 42
Probekörper: Spramex 300 + Hochofenschlacke O/S

0	10,3	10,1	0,2	1,9
10	6,00	5,65	0 35	6,2
20	3,46	3,00	0,46	13,3
30	1,8555	1,575	0,280	17,8
40	0,92	0,67	0,25	27,1
50	0,744	0,482	0,262	35,2

Versuch Nr. 43
obekörper: Wetterteer + Hochofenschlacke W

0	14,6	11,6	3,0	20,6
10	3,280	2,585	0,695	21,2
20	0,981	0,656	0,325	33,2
30	0,300	0,162	0,138	46,0

Versuch Nr. 44
Probekörper: Anthrazenölteer $^{70}/_{30}$ + Hochofenschlacke W

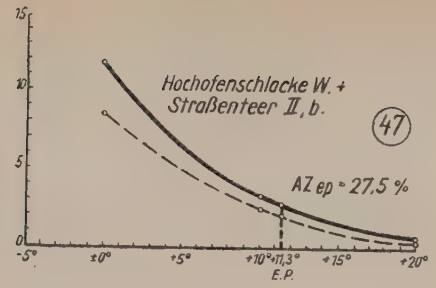
Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	kg/cm² in	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	8,56	7,80	0,76	8,9
+ 10	2,975	2,610	0,365	12,3
+ 20	0,918	0,787	0,131	14,3
+ 30	0,311	0,194	0,117	37,6

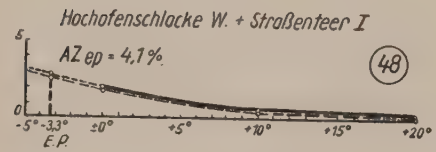
Versuch Nr. 45
Probekörper: Anthrazenölteer $^{60}/_{40}$ + Hochofenschlacke W

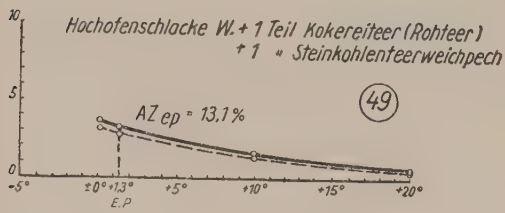
± 0	4,880	2,875	2,005	41,1
+ 10	0,988	0,384	0,604	61,1
+ 20	0,287	0,000	0,287	100,0

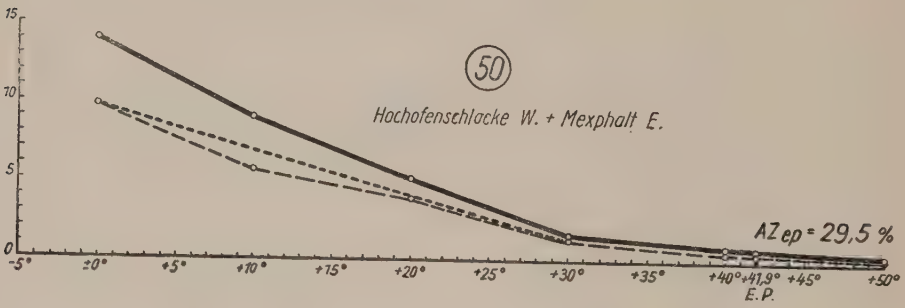
Versuch Nr. 46
Probekörper: Straßenteer II, a + Hochofenschlacke W

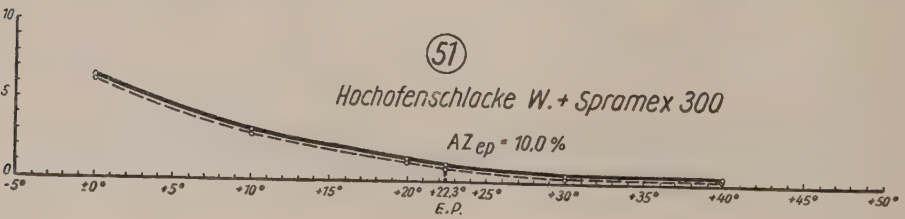
± 0	4,18	3,06	1,12	26,8
+ 10	1,092	0,700	0,392	36,0
+ 20	0,388	0,200	0,188	48,5











Versuche Nr. 47–51

Abszisse: Temperatur in ° C
Ordinate: Festigkeit in kg/cm²
——— ZT
- - - - - ZW

Versuch Nr. 47
Probekörper: Straßenteer II, b + Hochofenschlacke W

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
0	11,70	8,55	3,15	26,9
10	3,28	2,39	0,89	27,1
20	0,570	0,409	0,161	28,2

Versuch Nr. 48
Probekörper: Straßenteer I + Hochofenschlacke W

0	2,06	1,94	0,12	5,8
10	0,456	0,338	0,118	25,8
20	0,194	0,000	0,194	100,0

Versuch Nr. 49
robekörper: 1 Teil Kokereiteer (Rohteer) + Teil Steinkohlenteerweichpech + Hochofenschlacke W

0	3,605	3,145	0,460	12,7
10	1,53	1,31	0,22	14,4
20	0,525	0,400	0,125	23,8

Versuch Nr. 50
Probekörper: Mexphalt E + Hochofenschlacke W

Temperatur in °C	Zugfestigkeit in kg/cm²		Zugfestigkeitsabfall	
	nach Trockenlagerung	nach Wassersättigung	in kg/cm²	in % d. Zugfestigkeit nach Trokkenlagerung
± 0	14,05	9,80	4,25	30,2
+ 10	9,10	5,64	3,46	38,0
+ 30	5,040	3,895	1,145	22,8
+ 30	1,75	1,40	0,35	20,0
+ 40	0,875	0,619	0,256	29,2
+ 50	0,433	0,301	0,131	30,

Versuch Nr. 51
Probekörper: Spramex 300 + Hochofenschlacke W

± 0	6.710	6,421	0,289	4,3
+ 10	3,120	2,933	0,187	6,0
+ 20	1,40	1,27	0,13	9,3
+ 30	0,455	0,431	0,024	11,3
+ 40	0,337	0,275	0,062	18,4
+ 50	0,0	0,0	0,0	0,0

Quellenangabe

Bain, M.: Das Phänomen des Benetzens bei Asphalt.
Asphalt und Teer, 1929, S. 13.

Bierhalter, W.: Mechanische Prüfverfahren zur Bewertung von Asphalt-Massen für Straßenbeläge.
Bitumen, 1935, S. 102, 128.

Dahlberg, B.: Über Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel.
Asphalt und Teer, 1934, S. 585.

Dow, A. W.: Asphalt und Teer, 1928, 28, S. 542.

Ehlgötz, H., u. E. Flister: Die Erhaltung der bautechnisch wichtigen Eigenschaften des Teeres als bindendes Element in der Straßendecke.
Teer und Bitumen, 1933, S. 405, 417, 429.
1934, S. 425.

Ewers, N.: Die Konstruktionsgrundlagen hochwertiger bituminöser Straßendecken.
Asphalt und Teer, 1935, H. 16, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28.

Flachs, F.: Über Asphalt-Teer-Mischungen.
Asphalt und Teer, 1929, S. 1251—1255.

Fricke, R., u. K. Meyering: Die Klebekraft von Straßenteeren und ihren Gemischen mit Asphalt und Bitumen.
Asphalt und Teer, 1932, S. 264.

Flister, E.: Fugenvergußmasse im Betonstraßenbau.
Teer und Bitumen, 1935, S. 78, 91, 103.

Geißler, W.: Über die Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel an Gesteinen. (W. Riedel, H. Weber).
Asphalt und Teer, 1933, S. 677, 693, 713, 729, 749, 792, 809.
Bedeutung der Haftfestigkeit.
Bitumen, 1934, S. 191.
Irgateer und seine besondere Haftfestigkeit an Gesteinen.
Asphalt und Teer, 1935, S. 363.
Haftfestigkeit von Verschnittbitumen an Gestein. (H. Kleinert.)
Asphalt und Teer, 1936, S. 481, 500, 532.

Gonell, H. W.: Gesteinsmehle als Füller im bituminösen Straßenbau.
Bitumen, 1934, H. 3 und 4.

Graefe: Asphalt und Teer, 1928, Nr. 35, S. 923.

Herrmann, P.: Tätigkeitsbericht für das Geschäftsjahr 1932. „Zugfestigkeiten und Dehnung von Feinbeton und Grobbeton." Tätigkeitsbericht des Hauptausschusses der Zentralstelle für Asphalt- und Teerforschung. Jahrgang 1930.
Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel am Gestein.
Asphalt und Teer, 1935, S. 905.
1933, S. 374.

Heydecke: Viskosität und Klebefähigkeit von Straßenteeren.
Asphalt und Teer, 1929, S. 649.

Hoepfner: Starrpunkt bituminöser Stoffe und seine Bestimmung.
Asphalt und Teer, 1930, S. 258. (Metzger.)
Adsorption.
Asphalt und Teer, 1930, S. 726.
Über Ursachen und Umfang der Alterung von Straßenteer.
Asphalt und Teer, 1935, H. 15, 16, 17.
Bindefestigkeitsuntersuchungen der Straßenbauforschungsstelle Danzig. Bericht, erstattet in der 7. Sitzung der Arbeitsgruppe Teerstraßen am 31. 1. 1936 in Kassel.

Jachzel, J.: Zur Frage der Haftfestigkeit von Asphaltemulsionen auf Sand und mineralischen Aggregaten.
Asphalt und Teer, 1936, H. 7, S. 101.

Joedicke, Fr.: Allgemeine Anforderungen an Betonfugenausgußmassen.
Bitumen, 1936, S. 82.

Kindscher, E.: Die Bindefähigkeit des Bitumens.
Bitumen, 1933, S. 104.

Klinkmann: Klebekraft und Oberflächenspannung.
Asphalt und Teer, 1932, S. 403.
Viskosität — Konsistenz.
Asphalt und Teer, 1933, S. 530.
Oberflächenspannungen von Teer und Teerbitumenmischungen.
Asphalt und Teer, 1931, S. 45/46.
Beitrag zur Kenntnis der Teer-Erdölbitumen-Mischung für den Straßenbau.
Asphalt und Teer. 1931, Heft 48, S. 1141.

Kresse, H.: Über Haftfestigkeit und Gütebestimmung bei Emulsionsbitumen.
Bitumen, 1936, H. 3, S. 59.

Hallison, H.: Fortschritte auf dem Straßenteergebiet.
Asphalt und Teer, 1934, S. 1007.
Über die Klebekraft von Straßenteeren.
Asphalt und Teer, 1935, S. 884.

Meng, W. von: Über den derzeitigen Stand des Fugenfüllproblems bei Fahrbahndecken aus Beton.

Metzger u. Höpfner: Starrpunkt bituminöser Stoffe und seine Bestimmung.
Asphalt u. Teer, 1930, S. 258.

Martin, O.: Untersuchungen über die Bindefähigkeit bituminöser Stoffe und deren Messung.
Allgemeiner Industrie-Verlag, G.m.b.H., Berlin-Lichterfelde.

Noll, K.: Zur Frage der Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel an verschiedenen Gesteinen.
Teer und Bitumen, 1934, S. 231, 243, 325.
Über die Veränderungen des Teeres in Teermineralgemischen.
Teer und Bitumen, 1935, S. 219, 230.

Nüssel, H., u. E. Neumann: Zur Frage der Haftfestigkeit nach Riedel und Weber.
Bitumen, 1935, S. 125.

Neumann, E.: Über die Prüfung bituminöser Massen.
Asphalt und Teer, 1936, S. 377.

Nüssel, H., u. K. Ziegs: Über Kornzusammensetzung und Oberfläche mineralischer Füllstoffe.
Bitumen, 1932, S. 134, 156, 179.
Anregung zur Zusammensetzung und Prüfung bituminöser Fugenvergußmassen.
Bitumen, 1936, H. 5, S. 99.

Oberbach, J.: Die Kochprobe auf Haftfestigkeit nach Riedel und Weber und die Praxis.
Teer und Bitumen, 1936, S. 271, 287.

Riedel, W., u. H. Weber: Über die Ursachen der Haftfestigkeit.
Asphalt und Teer, 1934, H. 11, 22, 24, 46, 47, 48, 49.
Haftfestigkeit in Wissenschaft und Praxis.
Asphalt und Teer, 1936, H. 8 und 10, S. 120.
Über die Ursachen der Haftfestigkeit. Bitumen in der Praxis.
Bibliothek des Instituts für Straßenbauforschung, Bestands-Nr. 39.
Zur Frage der Haftfestigkeit bituminöser Bindemittel an verschiedenen Gesteinen.
Teer und Bitumen, 1934, S. 323.
Die Auswertung der Haftfestigkeitsbestimmung für die Praxis.
Asphalt und Teer, 1936, S. 977.

Rasching, K.: Klebekraft und Viskosität von Straßenteeren.
Asphalt und Teer, 1936, H. 13.

Saal, R. N. J.: Die Adhäsion von Bitumen und Teer an festen Straßenbaustoffen.
Bitumen, 1933, S. 101.

Seufert: Fugenausgußmassen für Straßendecken aus Zementbeton.
Bitumen, 1936, H. 2, S. 31—34.

Streit: Erfahrungen mit Fugen im Betonstraßenbau.
Der Straßenbau, 1936, H. 1, S. 1—5.

Temme, Th.: Gummi-Bitumen-Mischungen.
Teer und Bitumen, 1936, S. 213.

Tremmel: Die Prüfung und Lieferungsvorschriften für Betonausgußmassen.
Bitumen, 1936, S. 86, 104.

Knipping, Götz v. Bewersdorf: Untersuchungen des Einflusses von Bitumenzusatz zu Teer an Probekörpern.
Teer und Bitumen, 1935, S. 151.

Wilhelmi, R.: Untersuchung der Adsorption der im Straßenbau verwendeten Gesteine.
Bitumen, 1931, H. 1, S. 25, 67, und Sonderdruck.
Die Kornausbildung bei der Verdichtung als Hinweis auf den richtigen Kornaufbau bituminöser Deckenbeläge.
Bitumen, 1935, S. 177.

Zacher, W.: Fugenschluß mit Bitumenemulsion bei Großpflaster.
Bitumen, 1936, H. 3, S. 55—59.

Zunker, F.: Oberflächenentwicklung des Bodens, Gravitations- und Oberflächenkräfte.
Bautechnik, 1935, H. 24, S. 291—299.

Lebenslauf

Als Sohn des Betriebsdirektors Willy Schultz wurde ich am 28. Juni 1911 in Fraustadt (Posen) Grenzmark Posen-Westpreußen geboren. Von Ostern 1921 an besuchte ich daselbst das Reformrealgymnasium und verließ am 17. März 1930 die Anstalt mit dem Zeugnis der Reife.

Mit Beginn des Wintersemesters 1930/31 wurde ich bei der Fakultät für Bauwesen der Technischen Hochschule Breslau immatrikuliert. Meine vorgeschriebene praktische Tätigkeit habe ich vom 1. April 1930 bis 1. Oktober 1930 bei der Firma Gebrüder Huber, Breslau, abgeleistet.

Die Diplomhauptprüfung bestand ich am 15. Mai 1935 mit dem Prädikat „gut".

Seit 1. Juni 1935 arbeite ich unter Leitung von Herrn Professor Walter Hartleb im Institut für Straßenbauforschung der Techn. Hochschule Breslau, wo auch diese Arbeit entstand.

Breslau, den 23. Januar 1937.

Karl Willi Schultz.